GRUPO BLR

GUÍA DE ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA HUMANA PARA BIOQUÍMICOS FARMACÉUTICOS: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES CLÍNICAS

ISBN: 978-9907-802-74-0

Lidia Elizabeth Guzmán Heras
Geovanny Efrén Ramón Japón

2026

GUÍA DE ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA HUMANA PARA BIOQUÍMICOS FARMACÉUTICOS: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES CLÍNICAS

Lidia Elizabeth Guzmán Heras

Geovanny Efrén Ramón Japón

AUTORES:

UTMACH

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica.

©Grupo Editorial BLR
Universidad Técnica de Machala
Riobamba – Ecuador
Correo: publicaciones@grupoblr.com
https://grupoblr.com/libros-investigo
REPOSITORIO



Guzmán, L., Ramón, G. (2026) Guía de anatomía y fisiología humana para bioquímicos farmacéuticos: Fundamentos y aplicaciones clínicas. Grupo Editorial BLR.

© Lidia Elizabeth Guzmán Heras
Geovanny Efrén Ramón Japón

Guía de anatomía y fisiología humana para bioquímicos farmacéuticos: Fundamentos y aplicaciones clínicas.

ISBN: 978-9907-802-74-0

El copyright promueve la libertad de expresión, protege la diversidad de ideas y conocimiento, además apoya la libre expresión. Se prohíbe de manera rigurosa la producción o el almacenamiento de esta publicación, ya sea en su totalidad o en parte, está estrictamente prohibido por ley, incluyendo el diseño de la portada, así como su difusión a través de cualquiera de sus medios, ya sean electrónicos, mecánicos, ópticos, de grabación o incluso de fotocopia, sin permiso de los propietarios de los derechos de autor.

FILIACIÓN DEL AUTOR

Lidia Elizabeth Guzmán Heras
Universidad Técnica de Machala
Correo Electrónico: lguzman@utmachala.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7852-8372

Geovanny Efrén Ramón Japón
Universidad Técnica de Machala
Correo Electrónico: gramonj@utmachala.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3413-2322

PREFACIO

El estudio de la anatomía y fisiología humana constituye un pilar fundamental en la formación de los profesionales de la Bioquímica y Farmacia, quienes requieren comprender la estructura del cuerpo humano, su funcionamiento a nivel sistémico y molecular, y la manera en que estos procesos se relacionan con los mecanismos bioquímicos y farmacológicos que intervienen en la salud y la enfermedad. Este libro surge como una respuesta a la necesidad de contar con un texto actualizado, riguroso y contextualizado al entorno ecuatoriano, diseñado específicamente para fortalecer las competencias del perfil de egreso de la carrera y apoyar el aprendizaje autónomo y significativo de los estudiantes.

La presente obra integra de manera coherente y didáctica los conceptos fundamentales de la anatomía y la fisiología con sus bases bioquímicas, farmacológicas y clínicas, promoviendo una comprensión transversal de los sistemas corporales. Su enfoque combina fundamentos teóricos sólidos, correlaciones clínicas basadas en casos reales del entorno hospitalario local y recursos pedagógicos orientados al razonamiento biomédico. El libro está organizado en unidades temáticas que desarrollan los distintos sistemas del cuerpo humano, presentando de forma progresiva los aspectos estructurales, funcionales y moleculares que sustentan la práctica profesional del bioquímico–farmacéutico.

Cada capítulo presenta una explicación clara y secuencial de los contenidos fundamentales de anatomía y fisiología, integrando cuando corresponde aspectos bioquímicos, moleculares y clínicos relevantes

para la formación del bioquímico–farmacéutico. Los temas se desarrollan con un enfoque directo y didáctico, incorporando esquemas, figuras y descripciones que facilitan la comprensión progresiva. Al cierre de los capítulos, se incluyen apartados que permiten reforzar los contenidos estudiados y orientar al estudiante hacia un aprendizaje significativo, como resúmenes, preguntas de revisión, ejercicios y casos clínicos seleccionados. Esta estructura busca garantizar coherencia, claridad y utilidad práctica para los estudiantes, manteniendo un estilo uniforme que acompaña el proceso formativo a lo largo del libro.

La estructura del libro y sus recursos están diseñados para que el estudiante no solo memorice conceptos, sino que logre comprender y aplicar el conocimiento en contextos diagnósticos, clínicos y de laboratorio. Además, se pone especial énfasis en el uso ético y responsable de herramientas digitales y tecnologías emergentes, incluyendo la inteligencia artificial como apoyo ilustrativo y didáctico, siempre bajo la supervisión académica correspondiente.

Este texto recoge la experiencia docente, investigativa y profesional de la autora, así como la necesidad de contar con materiales pertinentes y de calidad que fortalezcan los procesos formativos de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud. Su finalidad es brindar a los estudiantes un recurso accesible, claro y actualizado, que les permita comprender el cuerpo humano desde una perspectiva integrada y que contribuya a su formación científica, clínica y humanista.

Enfoque metodológico y estructura del libro

La presente obra ha sido concebida bajo un enfoque integrador y sistemático de la anatomía y la fisiología humana, orientado a la comprensión profunda de la relación estructura–función como eje organizador del funcionamiento del organismo. El cuerpo humano se aborda como una entidad biológica compleja, dinámica y jerárquicamente organizada, en la cual los distintos niveles de organización interactúan de manera continua para sostener la homeostasis y la adaptación funcional. El objetivo central del texto es proporcionar un sustento científico robusto, actualizado y pertinente para la formación avanzada del profesional en Bioquímica y Farmacia, articulando la anatomía y la fisiología con fundamentos bioquímicos, farmacológicos, fisiopatológicos y clínicos.

1. Enfoque metodológico

El abordaje de los contenidos se estructura sobre tres ejes didáctico-metodológicos fundamentales:

a) Integración morfofuncional de los sistemas biológicos

Cada capítulo analiza los sistemas del cuerpo humano desde una perspectiva morfofuncional, enfatizando el principio de complementariedad entre la organización anatómica y los procesos fisiológicos. Las estructuras se examinan no solo en términos descriptivos, sino en función de su participación en mecanismos bioquímicos, fisiológicos y farmacodinámicos, lo que permite una interpretación sistémica del organismo y evita la compartimentación del conocimiento.

b) Progresión epistemológica del conocimiento

Los contenidos se organizan conforme a una secuencia lógica y acumulativa que favorece la construcción progresiva del conocimiento científico:

1. Caracterización general del sistema y su relevancia biológica.
2. Análisis de la organización anatómica macro y microscópica.
3. Descripción de los procesos fisiológicos esenciales y de sus mecanismos de regulación.
4. Integración con la bioquímica, la farmacología y la interpretación clínica.

Esta progresión metodológica facilita la articulación entre niveles de organización y promueve una comprensión holística de los fenómenos biológicos.

c) Enfoque bioquímico-farmacéutico y clínico

La obra incorpora de manera transversal la correlación entre estructura, función y acción farmacológica, con el propósito de:

1. Analizar cómo las características anatómicas y fisiológicas condicionan la farmacocinética y la farmacodinámica.
2. Fortalecer el razonamiento fisiopatológico.
3. Sustentar la interpretación crítica de signos clínicos, pruebas de laboratorio y estudios de imagen.

2. Estructura pedagógica del libro

Con el fin de optimizar el aprendizaje avanzado y la planificación académica, los capítulos presentan una estructura pedagógica homogénea:

1. Introducción: delimita el marco conceptual del sistema abordado y justifica su relevancia biológica, clínica y farmacéutica.
2. Objetivos de aprendizaje: formulan con precisión las competencias cognitivas y analíticas que deben alcanzarse.
3. Desarrollo temático: expone de manera sistemática los fundamentos anatómicos, fisiológicos, bioquímicos y farmacológicos, integrando evidencia científica actualizada.
4. Enfoque aplicado: incorpora correlaciones clínicas, diagnósticas y terapéuticas que evidencian la aplicabilidad del conocimiento teórico.
5. Actividades de integración: propone ejercicios orientados al análisis crítico, la síntesis conceptual y la resolución de problemas.
6. Referencias especializadas: permiten profundizar los contenidos y respaldar el rigor académico del texto.

Esta organización favorece la utilización de cada capítulo como unidad autónoma de estudio avanzado y como recurso docente.

3. Coherencia interna y articulación interdisciplinaria

Aunque los capítulos pueden consultarse de forma independiente, la obra mantiene una coherencia interna sustentada en la interrelación constante entre anatomía, fisiología, bioquímica y farmacología. Los contenidos se articulan a partir de los niveles de organización biológica, estableciendo vínculos explícitos entre la estructura macroscópica, la organización microscópica y los procesos funcionales que determinan el estado fisiológico y patológico del organismo.

A lo largo del texto se enfatiza la interdependencia sistémica, destacando cómo las alteraciones morfofuncionales impactan en los mecanismos fisiopatológicos, en la respuesta farmacológica y en la interpretación de estudios complementarios.

4. Usos académicos y profesionales

La obra se orienta a la formación avanzada en las áreas de Anatomía y Fisiología Humana, Bioquímica Clínica, Farmacología, Toxicología y disciplinas afines. Asimismo, constituye un material de referencia para el profesional en Bioquímica y Farmacia que requiera profundizar o actualizar fundamentos morfofuncionales aplicados a la práctica clínica, hospitalaria y de laboratorio.

5. Recorrido general del libro

El texto se organiza en capítulos desarrollados de manera progresiva, que abarcan:

1. Los fundamentos teóricos de la anatomía y la fisiología humanas,
2. Los niveles de organización biológica,
3. El análisis morfofuncional de los principales sistemas orgánicos,
4. Su integración con la bioquímica, la farmacología y el abordaje clínico.

De este modo, se transita desde el análisis estructural del organismo hasta la interpretación funcional y aplicada de los sistemas, consolidando una base conceptual avanzada que sustenta la formación de posgrado y el ejercicio profesional especializado.

ÍNDICE

PREFACIO i

ÍNDICE DE FIGURAS xviii

ÍNDICE DE TABLAS xxii

CAPÍTULO I……..21

1. FUNDAMENTOS DE ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA HUMANA 23

1.1 Anatomía y fisiología: conceptos, métodos e historia 23

1.1.1 Introducción…….23

1.1.2 Visión general sobre la anatomía y fisiología 24

1.1.3 Relación entre ambas disciplinas: anatomía y fisiología 24

1.1.4 Definición de anatomía 24

1.1.5 Definición de fisiología 26

1.1.6 Principio de complementariedad estructura-función 26

1.1.7 Metodologías de estudio anatómicas 27

1.1.8 Desarrollo histórico de la Anatomía y Fisiología 29

1.1.9 Aplicaciones en farmacología 32

1.2 Organización del cuerpo humano y niveles de organización 33

1.2.1 Visión general sobre la organización del cuerpo humano 34

1.2.2 Niveles de organización..... 34

1.2.3 Importancia de la fisiología y la anatomía..... 35

1.2.4 Relación entre niveles y disciplinas 35

1.2.5 Niveles de organización biológica..... 35

1.2.6 Planos anatómicos y términos direccionales 39

1.2.7 Planos anatómicos 40

1.2.8 Términos direccionales..... 40

1.2.9 Cavidades corporales..... 40

1.2.10 Homeostasis y sistemas de retroalimentación 41

1.3 Resumen 43

1.4 Preguntas de repaso 45

CAPÍTULO II 49

2. SISTEMA NERVIOSO 49

2.1 Introducción del sistema nervioso 49

2.1.1 Anatomía del sistema nervioso..... 49

2.1.2 Sistema nervioso periférico 50

2.1.3 Sistema nervioso central 52

2.2 Fisiología del sistema nervioso central y autónomo..... 57

2.2.1 Generalidades del sistema nervioso central..... 58

2.2.2 Fisiología del sistema nervioso autónomo 59

2.2.3 Componentes de los nervios 61

2.3 Bases bioquímicas y enfoque farmacéutico del sistema nervioso. 62

2.3.1 Composición bioquímica del tejido nervioso 64

2.3.2 Neurofarmacología y mecanismos de acción 67

2.3.3 Drogas de abuso y neurotoxicidad 68

2.3.4 Enfermedades neurológicas y abordaje farmacológico 68

2.4 Aplicaciones clínicas 69

2.5 Resumen 73

2.6 Preguntas de repaso 76

CAPÍTULO III 79

3. SISTEMA ENDOCRINO..... 79

3.1 Anatomía del sistema endocrino 79

3.1.1 Hipotálamo…… 80

3.1.2 Divisiones del hipotálamo 81

3.1.3 Núcleos del hipotálamo 81

3.1.4 Hipófisis (glándula pituitaria)..... 83

3.1.5 Glándula tiroides 84

3.1.6 Paratiroides…… ..... ……87

3.1.7 Glándulas suprarrenales..... 88

3.1.8 Páncreas endocrino 90

3.1.9 Gónadas…….. 92

3.2 Fisiología y regulación del sistema endocrino 93

3.2.1 Funciones del sistema endocrino 96

3.2.2 Glándulas endocrinas, hormonas, funciones y sus estructuras... 97

3.2.3 Regulación del sistema endocrino 103

3.3 Aplicaciones clínicas 104

3.4 Resumen 113

3.5 Preguntas de repaso 115

CAPÍTULO IV..... 118

4. SISTEMA CARDIOVASCULAR 118

4.1 Anatomía del corazón 118

4.1.1 Importancia del corazón 119

4.1.2 Morfología externa 120

4.1.3 Morfología interna 121

4.2 Anatomía de los vasos sanguíneos 126

4.2.1 Clasificación de los vasos sanguíneos 127

4.2.2 Venas……. 130

4.3 Fisiología de la circulación sanguínea 132

4.3.1 Principios básicos de la función circulatoria 133

4.3.2 Distribución y presiones sanguíneas 135

4.4 Aplicaciones clínicas 138

4.5 Resumen 159

4.6 Preguntas de repaso 162

CAPÍTULO V 165

5. SANGRE Y HEMATOPOYESIS 165

5.1 Sangre: funciones y células sanguíneas 165

5.1.1 Sangre…….. 166

5.1.2 Células sanguíneas 167

5.2 Resumen 169

5.3 Preguntas de repaso 170

CAPÍTULO VI 173

6. SISTEMA LINFÁTICO E INMUNIDAD 173

6.1 Anatomía del sistema linfático 173

6.1.1 Generalidades del sistema linfático 173

6.1.2 Organización general del sistema linfático 174

6.1.3 Circulación de la linfa en el linfonodo 177

6.1.4 Anatomía general del sistema linfático 182

6.1.5 Órganos linfáticos 184

6.1.6 Fisiología del sistema linfático 187

6.1.7 Bases celulares y moleculares del sistema inmune 189

6.1.8 Aplicaciones clínicas 191

6.2 Bases bioquímicas y enfoque farmacéutico de la inmunidad 192

6.2.1 Bases bioquímicas de la respuesta inmunitaria 194

6.2.2 Inmunomoduladores: Definición y clasificación 195

6.2.3 Aplicaciones clínicas de los inmunomoduladores 195

6.2.4 Consideraciones farmacológicas y efectos adversos 196

6.3 Aplicaciones clínicas 197

6.4 Resumen 203

6.5 Preguntas de repaso 206

CAPÍTULO VII 209

7. SISTEMA URINARIO 209

7.1 Anatomía del sistema urinario 209

7.1.1 Vías urinarias 211

7.2 Fisiología del sistema urinario y diagnóstico clínico 212

7.2.1 Regulación nerviosa de la micción 213

7.2.2 Relaciones anatómicas con otros sistemas 214

7.2.3 Sistema urinario: Anatomía comparada y fisiología 214

7.3 Bases bioquímicas y enfoque farmacéutico del sistema urinario 215

7.3.1 Bioquímica y análisis de orina 217

7.4 Aplicaciones clínicas 218

7.5 Resumen 223

7.6 Preguntas de repaso 226

CAPÍTULO VIII 229

8. SISTEMA DIGESTIVO 229

8.1 Anatomía del sistema digestivo 229

8.1.1 Desarrollo teórico 230

8.2 Fisiología del sistema digestivo 232

8.2.1 Desarrollo teórico 234

8.3 Bases bioquímicas y enfoque farmacéutico del sistema digestivo 235

8.3.1 Desarrollo teórico 237

8.4 Aplicaciones clínicas 239

8.5 Resumen 251

8.6 Preguntas de repaso 253

CAPÍTULO VIIII 256

9. SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO 256

9.1 Anatomía del sistema musculoesquelético 256

9.1.1 Huesos…… 256

9.1.2 Músculos……..... 258

9.1.3 Articulaciones ……...258

9.1.4 El sistema Esquelético 259

9.1.5 Huesos de la cintura pélvica 267

9.1.6 Huesos inferiores 267

9.1.7 Anatomía básica de los músculos esqueléticos 268

9.2 Fisiología del sistema musculoesquelético 272

9.2.1 Fisiología del sistema musculoesquelético 273

9.2.2 Tipos de fibras musculares esqueléticas 278

9.3 Bases bioquímicas y enfoque farmacéutico del sistema musculoesquelético 279

9.3.1 Fundamentos bioquímicos de la función muscular 281

9.3.2 Modulación farmacéutica del sistema musculoesquelético 282

9.3.3 Farmacoterapia del dolor y la inflamación muscular 283

9.4 Aplicaciones clínicas 283

9.5 Resumen 290

9.6 Preguntas de repaso 292

CAPÍTULO X 295

10. SISTEMA REPRODUCTOR 295

10.1 Anatomía del sistema reproductor 295

10.1.1 Aparato reproductor femenino..... 296

10.1.2 Aparato Reproductor Masculino 298

10.2 Fisiología del sistema reproductor..... 299

10.2.1 Función prostática y marcadores enzimáticos 301

10.2.2 Fisiología de la lactancia y regulación neuroendocrina..... 302

10.2.3 Senescencia reproductiva: menopausia y andropausia 303

10.3 Bases bioquímicas y enfoque farmacéutico del sistema reproductor 304

10.3.1 Tratamientos hormonales 306

10.3.2 Terapias no hormonales..... 306

10.3.3 Farmacología de la Regulación Hormonal y Fertilidad..... 307

10.3.4 Anticonceptivos hormonales y retroalimentación negativa.... 307

10.3.5 Moduladores selectivos de receptores de estrógenos (SERM)…….. 307

10.3.6 Bioquímica de los bloqueadores y análogos de GnRH 308

10.3.7 Farmacología del sistema reproductor masculino y uterotónicos……. 309

10.3.8 Oxitocina y prostaglandinas en la obstetricia 309

10.3.9 Aplicaciones clínicas 309

10.4 Aplicaciones clínicas 310

10.5 Resumen 314

10.6 Preguntas de repaso 316

GLOSARIO..... 319

REFERENCIAS 345

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación anatómica comparativa del cuerpo humano masculino y femenino. 23

Figura 2. Imágenes del corazón mediante ecocardiografía transtorácica. 25

Figura 3. Mucosa del esófago teñida con H&E. Aumento 20x. 26

Figura 4. Aorta abdominal 27

Figura 5. Atlas, vista superior 28

Figura 6. Representación anatómica en la obra de Vesalio: evolución del estudio del cuerpo humano. 30

Figura 7. Estructura interna del cuerpo humano. 31

Figura 8. Tipos de biomoléculas. 36

Figura 9. Célula eucariota animal. 37

Figura 10. Órganos del cuerpo humano. 38

Figura 11. Órganos del cuerpo humano. 39

Figura 12. Sistema nervioso. 50

Figura 13. Comparación entre las funciones del sistema nervioso simpático y parasimpático. 52

Figura 14. Sistema nervioso central. 53

Figura 15. Anatomía del encéfalo. 54

Figura 16. Nervios Raquídeos 58

Figura 17. Sistema Nervioso Autónomo. 60

Figura 18. Estructura del nervio. 61

Figura 19. Estructura del nervio periférico. 62

Figura 20. Sinapsis neuronal. 64

Figura 21. Neurona. 64

Figura 22. Estructuras químicas de varios neurotransmisores. 66

Figura 23. Representación de medicamentos en cápsulas y tabletas. 67

Figura 24. Imagen ilustrativa sobre el tabaquismo. 68

Figura 25. Partes del sistema endocrino. 80

Figura 26. Hipotálamo. 80

Figura 27. Glándula hipófisis. 83

Figura 28. Glándula tiroides. 85

Figura 29. Estructura de la Glándula Tiroides. 86

Figura 30. Glándula Paratiroides. 88

Figura 31. Vista posterior de las glándulas paratiroides. 88

Figura 32. Estructura de la glándula suprarrenal. 89

Figura 33. Páncreas e islotes pancreáticos. 90

Figura 34. Estructura del ovario. 92

Figura 35. Anatomía del Testículo. 93

Figura 36. Partes del sistema endocrino. 95

Figura 37. Mecanismos de acción hormonal. 102

Figura 38. Hormonas derivadas de aminoácidos..... 103

Figura 39. Regulación del sistema endocrino..... 104

Figura 40. Glándula tiroides..... 105

Figura 41. Anatomía del corazón. 120

Figura 42. Partes de corazón. 121

Figura 43. Anatomía Cardíaca. 122

Figura 44. Arterias. 129

Figura 45. Vasos sanguíneos. 130

Figura 46. Vena. 132

Figura 47. Sangre de glóbulos rojos. 167

Figura 48. Componentes de la Sangre. 168

Figura 49. Sistema Linfático. 174

Figura 50. Capilares y vasos linfáticos. 175

Figura 51. Estructura de un Ganglio Linfático. 176

Figura 52. Médula ósea. 178

Figura 53. Timo. 179

Figura 54. Bazo. 180

Figura 55. Vasos linfáticos. 183

Figura 56. Sistema Linfático. 186

Figura 57. Sistema inmune y adaptativo. 190

Figura 58. Anatomía del Aparato Urinario Humano..... 210

Figura 59. Fisiología del Sistema Urinario. 213

Figura 60. Sistema Urinario. 217

Figura 61. Sistema Digestivo. 231

Figura 62. Sistema Digestivo. 234

Figura 63. Etapas de la Digestión. 237

Figura 64. Vista lateral del cráneo humano. 261

Figura 65. Vista lateral del cráneo humano. 262

Figura 66. Columna vertebral. 264

Figura 67. El tórax óseo (caja torácica). 265

Figura 68. Vista anterior de los huesos de la mano derecha. 266

Figura 69. Huesos del brazo y antebrazo derechos. 266

Figura 70. Pelvis Ósea. 267

Figura 71. Huesos de muslo. 268

Figura 72. Anatomía del músculo esquelético. 269

Figura 73. Músculos faciales y del cuello. 270

Figura 74. Músculos extremidades inferiores. 272

Figura 75. Aparato Reproductor Femenino. 296

Figura 76. Aparato Reproductor Masculino. 298

Figura 77. Sistema Reproductor Humano. 300

Figura 78. Menopausia. 306

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen del sistema endocrino: Hormonas, tejidos y estructuras. 97

Tabla 2. Componentes principales del sistema digestivo humano 230

Tabla 3. Procesos fisiológicos clave por segmento del tubo digestivo 235

Tabla 4. Enzimas digestivas y su pH óptimo. 238

Tabla 5. Principales fármacos digestivos y su acción terapéutica. 238

Tabla 6. Tratamiento farmacológico. 240

Tabla 7. Tratamiento farmacológico 247

Tabla 8. Clasificación morfológica de los huesos. 257

Tabla 9. Tipos de articulaciones según su movimiento. 259

Tabla 10. Huesos del esqueleto axial. 260

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS DE ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA HUMANA

1.1 Anatomía y fisiología: conceptos, métodos e historia

1.1.1 Introducción

El cuerpo humano es una estructura compleja, dinámica y altamente organizada, compuesta por millones de células que forman tejidos, órganos y sistemas interdependientes (Figura 1). Esta organización no solo permite que el organismo funcione de forma coordinada, sino que también responde de manera precisa a los estímulos del entorno, mantiene su equilibrio interno y se adapta a diversas condiciones fisiológicas (Marieb & Hoehn, 2018; Tortora & Derrickson, 2018).

Para los profesionales en ciencias de la salud, en especial para los bioquímicos farmacéuticos, comprender cómo está constituido el cuerpo y cómo opera cada una de sus partes resulta esencial para el análisis, diseño y aplicación de tratamientos terapéuticos (OpenStax, 2022).

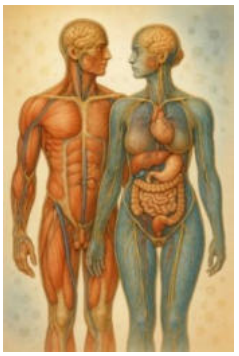


Figura 1. Representación anatómica comparativa del cuerpo humano masculino y femenino.

1.1.2 Visión general sobre la anatomía y fisiología

La anatomía y la fisiología forman la base del estudio del cuerpo humano en las ciencias de la salud, que permiten entender cómo está estructurado el cuerpo humano y cómo funcionan sus múltiples sistemas (Tortora & Derrickson, 2018; OpenStax, 2022). En el contexto de la bioquímica farmacéutica, el conocimiento anatómico y fisiológico no solo es necesario para comprender el cuerpo humano, sino también para entender cómo los fármacos interactúan con él, cómo se absorben y distribuyen, y de qué manera afectan sus funciones (Marieb & Hoehn, 2018; Khan Academy, s.f.).

1.1.3 Relación entre ambas disciplinas: anatomía y fisiología

La anatomía y la fisiología están íntimamente conectadas, ya que la estructura de cada parte del cuerpo está diseñada para cumplir una función específica; conocer esto permite entender cómo actúa, y comprender su función ayuda a explicar por qué tiene esa forma (Khan Academy, s.f.; OpenStax, 2022). Por ejemplo, conocer la anatomía de la membrana celular permite entender cómo un fármaco atraviesa las barreras celulares, mientras que comprender la fisiología del hígado es clave para interpretar su papel en el metabolismo de los medicamentos (Marieb & Hoehn, 2018).

1.1.4 Definición de anatomía

La anatomía, proveniente del griego *anatomē* que significa "disección", constituye la ciencia dedicada al estudio de la morfología del cuerpo humano. Este análisis abarca desde la organización macroscópica de órganos, sistemas y aparatos, investigada mediante observación directa y técnicas de imagen, hasta la intrincada estructura microscópica de

tejidos (histología) y células (citología), cuyo estudio se realiza con la ayuda de la microscopía (Standring, 2016; Drake et al., 2019; Ross & Pawlina, 2015). Tradicionalmente, la anatomía se divide en dos grandes ramas:

- **Anatomía macroscópica:** Se enfoca en el examen de las estructuras corporales visibles a simple vista o mediante el uso de herramientas de diagnóstico por imagen (Figura 2).

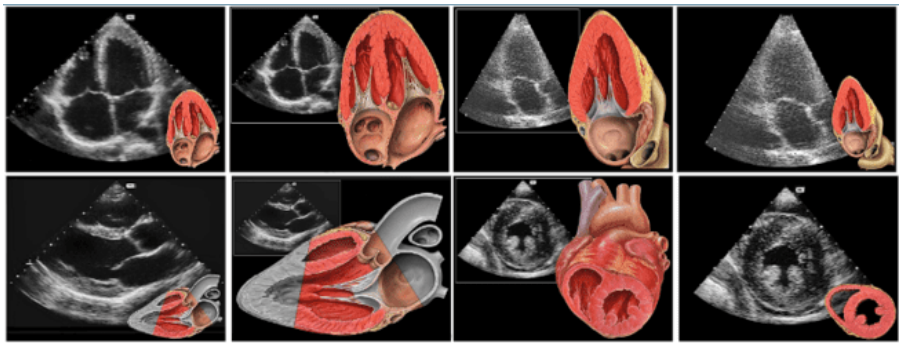


Figura 2. Imágenes del corazón mediante ecocardiografía transtorácica.

Fuente: Lynch and Jaffe (2006).

- **Anatomía microscópica:** Comprende la histología, el estudio de los tejidos, y la citología, el estudio de las células, requiriendo el uso de microscopios para su análisis detallado (Figura 3).

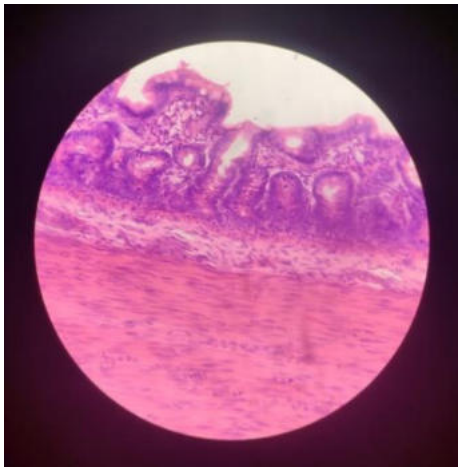


Figura 3. Mucosa del esófago teñida con H&E. Aumento 20x.

Fuente: Guzmán (2025).

Descripción: Microfotografía histológica de epitelio plano estratificado no queratinizado

1.1.5 Definición de fisiología

La fisiología, cuyo origen etimológico se encuentra en las palabras griegas *physis* ("naturaleza") y *logos* ("estudio"), es la disciplina científica que explora los procesos biológicos que sustentan el funcionamiento del organismo. Esta área investiga cómo interactúan las diferentes partes del cuerpo para llevar a cabo las funciones vitales. Ejemplos fundamentales incluyen la contracción muscular, un proceso esencial para el movimiento (fisiología neuromuscular) (Widmaier et al., 2019), y el intercambio gaseoso que ocurre en los pulmones, crucial para la respiración (fisiología respiratoria) (West, 2016).

1.1.6 Principio de complementariedad estructura-función

Como perspicazmente observó Claude Bernard en 1865, la función de un componente biológico está intrínsecamente ligada a su estructura.

Este principio de complementariedad estructura-función subraya cómo la organización anatómica condiciona las capacidades fisiológicas. Un ejemplo clásico es la forma bicóncava de los eritrocitos o glóbulos rojos, una adaptación morfológica que optimiza su superficie para el transporte eficiente de oxígeno, ilustrando la profunda interconexión entre la anatomía y la fisiología (Guyton & Hall, 2021).

1.1.7 Metodologías de estudio anatómicas

El estudio de la anatomía se apoya en una variedad de técnicas, desde métodos clásicos hasta avanzadas tecnologías de visualización (Figura 4).



Figura 4. Aorta abdominal

Fuente: AnatomyTOOL.org

Disección tradicional: Constituye la base histórica de la anatomía descriptiva. Esta técnica, practicada desde la antigüedad y revitalizada por figuras como Vesalio (1543/2014), implica la cuidadosa separación y examen de las estructuras corporales.

Tecnologías de imagen: El advenimiento de la tecnología ha revolucionado el estudio de la anatomía en el ser vivo, permitiendo visualizar estructuras internas de manera no invasiva:

- **Tomografía computarizada (TC):** Utiliza rayos X y procesamiento computarizado para generar imágenes detalladas de cortes transversales del cuerpo (Webb & Brant, 2018).
- **Resonancia magnética (RM):** Emplea campos magnéticos y ondas de radio para producir imágenes de alta resolución, especialmente útil para la visualización de tejidos blandos (Hashemi et al., 2017).
- **Ecografía:** Técnica que utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para crear imágenes dinámicas de órganos y tejidos en tiempo real, siendo un método no invasivo y ampliamente utilizado (Rumack et al., 2018).

La investigación en fisiología emplea diversas metodologías para comprender los procesos funcionales del organismo:

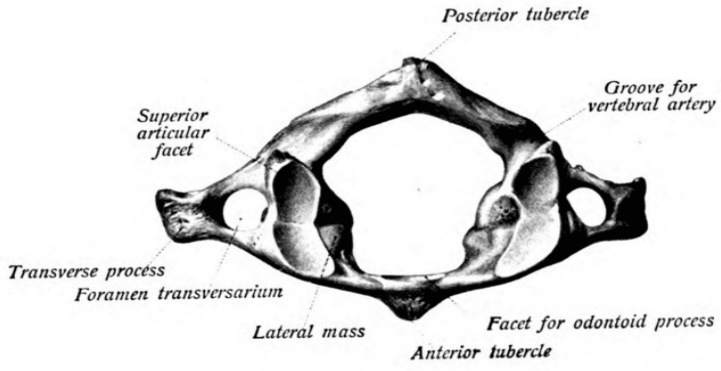


Figura 5. Atlas, vista superior

Fuente: Sobotta and McMurrich (1909)

- **Electrofisiología:** Se dedica al registro y análisis de los potenciales eléctricos generados por células y tejidos, proporcionando información crucial sobre la actividad nerviosa y muscular, como se observa en el electroencefalograma (EEG) y el electrocardiograma (ECG) (Purves et al., 2018).
- **Bioquímica clínica:** A través del análisis de marcadores bioquímicos presentes en fluidos corporales, principalmente la sangre, se evalúan diversas funciones orgánicas. La medición de glucosa y electrolitos son ejemplos de cómo esta disciplina contribuye al entendimiento del estado fisiológico (Burtis & Bruns, 2018).

1.1.8 Desarrollo histórico de la Anatomía y Fisiología

Antigüedad y edad media

El estudio de la anatomía y la fisiología tiene raíces profundas en la historia de la medicina (Figura 6).

- **Herófilo (siglo IV a.C.):** Reconocido como uno de los primeros anatomistas en llevar a cabo disecciones en cuerpos humanos, marcando un hito en la investigación anatómica (Von Staden, 1989).
- **Galeno (siglo II d.C.):** Sus extensas obras, aunque basadas principalmente en la disección de animales, dominaron el pensamiento médico durante la Edad Media, influyendo en la comprensión de la anatomía y la fisiología durante siglos (Nutton, 2013).

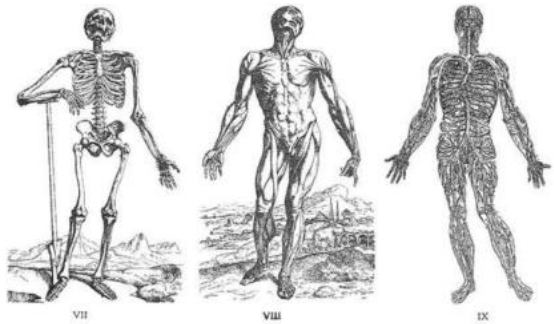


Figura 6. Representación anatómica en la obra de Vesalio: evolución del estudio del cuerpo humano.

Fuente: Vesalius (1555).

La revolución científica

Un período de transformación en la comprensión del cuerpo humano (Figura 6).

- **Andreas Vesalio (1543):** La publicación de su obra seminal, *De humani corporis fabrica* ("Sobre la estructura del cuerpo humano"), basada en observaciones directas durante disecciones humanas, representó una corrección fundamental de los errores de Galeno y un avance crucial para la anatomía moderna (Saunders & O'Malley, 2014).

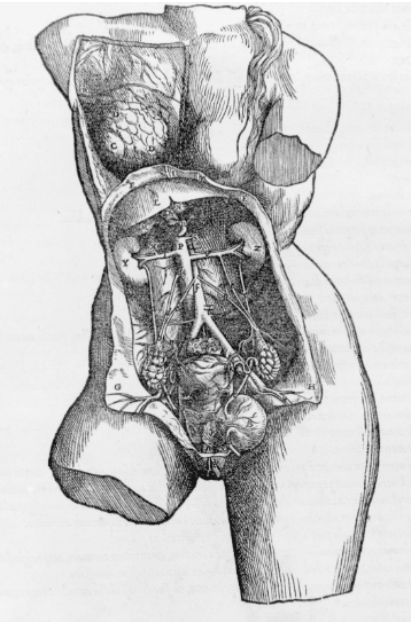


Figura 7. Estructura interna del cuerpo humano.

Fuente: Vesalius (1555).

- **William Harvey (1628):** Su descripción precisa de la circulación sanguínea en *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus* ("Un estudio anatómico sobre el movimiento del corazón y la sangre en los animales") sentó las bases de la fisiología circulatoria y la fisiología moderna en general (Frank, 2017).

Siglos XIX y XX

Avances conceptuales clave en la fisiología:

- **Claude Bernard:** Introdujo el fundamental concepto del *milieu intérieur* o medio interno, destacando la importancia de la estabilidad del ambiente interno para el funcionamiento de los organismos (Bernard, 1865/1957).

- **Walter Cannon (1932):** Acuñó el término *homeostasis*, que describe los mecanismos fisiológicos que mantienen la estabilidad del medio interno, un principio central en la fisiología (Cannon, 1932/1963).

1.1.9 Aplicaciones en farmacología

El conocimiento detallado de la anatomía y la fisiología es esencial para comprender y optimizar la acción de los fármacos en el organismo.

Farmacocinética: Estudia cómo el cuerpo afecta al fármaco, incluyendo los procesos de absorción (por ejemplo, las diferencias entre la administración por vía oral e intravenosa y cómo la anatomía del tracto gastrointestinal o el sistema vascular influyen en este proceso), distribución (como la capacidad de un fármaco para atravesar barreras anatómicas especializadas como la barrera hematoencefálica, determinada por la estructura de los capilares cerebrales), metabolismo y excreción (Brunton et al., 2022).

Farmacodinámica: Se centra en los mecanismos por los cuales los fármacos ejercen sus efectos a nivel molecular, celular y sistémico. El conocimiento de la fisiología de los sistemas diana es crucial; por ejemplo, entender cómo los betabloqueadores interactúan con los receptores adrenérgicos en el músculo cardíaco (anatomía microscópica y fisiología cardiovascular) para modular la frecuencia cardíaca (Rang et al., 2020).

1.2 Organización del cuerpo humano y niveles de organización

El cuerpo humano es una estructura compleja, dinámica y altamente organizada, compuesta por millones de células que forman tejidos, órganos y sistemas interdependientes. Esta organización permite que el organismo funcione coordinadamente, responda a estímulos externos, mantenga su equilibrio interno y se adapte a diversas condiciones fisiológicas. Para los profesionales de la salud, especialmente los bioquímicos farmacéuticos, entender cómo está organizado el cuerpo en sus distintos niveles es fundamental para analizar, diseñar y aplicar tratamientos terapéuticos.

El estudio de la organización estructural y funcional del cuerpo humano constituye un fundamento esencial para el análisis avanzado de la anatomía y la fisiología en las ciencias de la salud. La comprensión de esta organización jerárquica permite explicar cómo los componentes más simples se integran progresivamente para dar lugar a estructuras complejas y funciones altamente especializadas, estableciendo una relación inseparable entre estructura y función (Martini et al., 2014; McArdle et al., 2020).

En este capítulo se examinan los niveles de organización biológica desde el nivel químico hasta el organismo completo, destacando su relevancia para la interpretación de los procesos fisiológicos normales y patológicos (Ross & Pawlina, 2015; Hall, 2016). Asimismo, se introducen los principios de la terminología anatómica estandarizada, los planos corporales, los términos direccionales y las cavidades corporales como herramientas indispensables para la descripción precisa

de las estructuras anatómicas y la comunicación efectiva en los ámbitos académico y clínico (Tortora & Derrickson, 2018).

Finalmente, se aborda el concepto de homeostasis y los mecanismos de retroalimentación que regulan el equilibrio interno del organismo, los cuales resultan fundamentales para la comprensión de la fisiología humana y de las alteraciones que subyacen al desarrollo de diversas patologías (Silverthorn, 2016; OpenStax, 2023).

1.2.1 Visión general sobre la organización del cuerpo humano

La organización del cuerpo humano en niveles constituye la base del estudio en ciencias de la salud, permitiendo entender cómo las unidades más simples, como las células, se integran para formar tejidos, órganos y sistemas. En el ámbito de la bioquímica farmacéutica, conocer estos niveles es crucial no solo para entender el cuerpo humano, sino también para saber cómo los medicamentos impactan estructuras específicas, cómo se distribuyen en los tejidos y de qué manera modifican las funciones orgánicas (Martini, Nath & Bartholomew, 2014).

1.2.2 Niveles de organización

Los niveles de organización incluyen el nivel químico, celular, tisular, orgánico y de sistemas. Cada nivel representa un aumento en la complejidad y permite comprender cómo las interacciones entre componentes básicos dan lugar a funciones más elaboradas. Este conocimiento permite analizar cómo se disponen las estructuras, cómo interactúan entre sí y qué características permiten su identificación y estudio (Ross & Pawlina, 2015).

1.2.3 Importancia de la fisiología y la anatomía

Entender los niveles de organización es esencial para captar cómo funcionan el cuerpo y sus partes, centrando la atención en procesos dinámicos que permiten la vida y el mantenimiento del equilibrio interno. Se estudian funciones como la homeostasis, la comunicación celular, la integración tisular y la coordinación sistémica (Hall, 2016).

1.2.4 Relación entre niveles y disciplinas

La anatomía y la fisiología están profundamente entrelazadas mediante los niveles de organización, ya que cada estructura corporal tiene una función específica. Conocer la estructura permite entender su acción, y comprender la función ayuda a explicar su forma y disposición (McArdle, Katch & Katch, 2020).

1.2.5 Niveles de organización biológica

El cuerpo humano es un sistema complejo y jerárquico que se organiza en diferentes niveles de estructura. Esta organización permite la especialización de funciones, la eficiencia en los procesos vitales y la integración de las múltiples actividades biológicas que ocurren en el organismo. A continuación, se describen estos niveles desde el más simple hasta el más complejo (Martini et al., 2017)

- **Nivel químico**

Este es el nivel más básico de organización. En él se encuentran los átomos (como el carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno) y las moléculas formadas por estos átomos, como el agua, los lípidos, los carbohidratos, las proteínas y los ácidos nucleicos (Figura 8). Estas moléculas forman la base estructural de las células y participan en todas

las reacciones químicas necesarias para la vida, como la producción de energía, la replicación del ADN o la contracción muscular (Silverthorn, 2016)

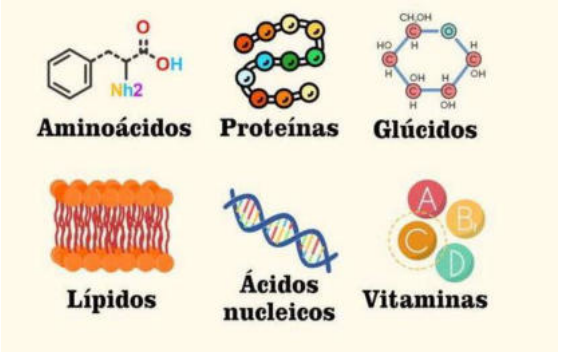


Figura 8. Tipos de biomoléculas.

Fuente: Rhoton (2019).

- **Nivel celular**

Las moléculas se organizan para formar células, que son las unidades estructurales y funcionales básicas de todo ser vivo. Cada célula contiene orgánulos especializados, como el núcleo, mitocondrias o ribosomas, que permiten llevar a cabo funciones vitales. (Figura 9) Existen diversos tipos celulares según su estructura y función: las neuronas transmiten señales eléctricas; los adipocitos almacenan grasa; las células musculares se contraen para generar movimiento, entre otras (Marieb & Hoehn, 2019)

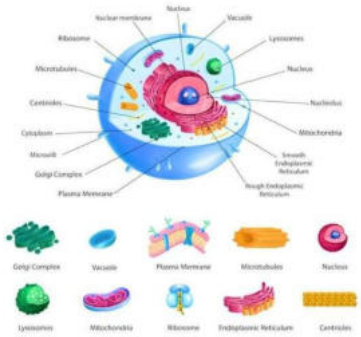


Figura 9. Célula eucariota animal.

Fuente: Freepik. (s.f.).

Nivel tisular

Las células del mismo tipo se agrupan y organizan para formar tejidos. Cada tejido tiene una función específica y una estructura que lo caracteriza (Figura 10). Los principales tipos de tejidos son:

- Epitelial: forma las capas externas del cuerpo y recubre cavidades internas; también forma glándulas.
- Conectivo: sostiene, une y protege otros tejidos; incluye sangre, hueso, cartílago y tejido adiposo.
- Muscular: permite el movimiento del cuerpo y de los órganos internos.
- Nervioso: detecta estímulos, procesa información y coordina respuestas (Tortora & Derrickson, 2018)

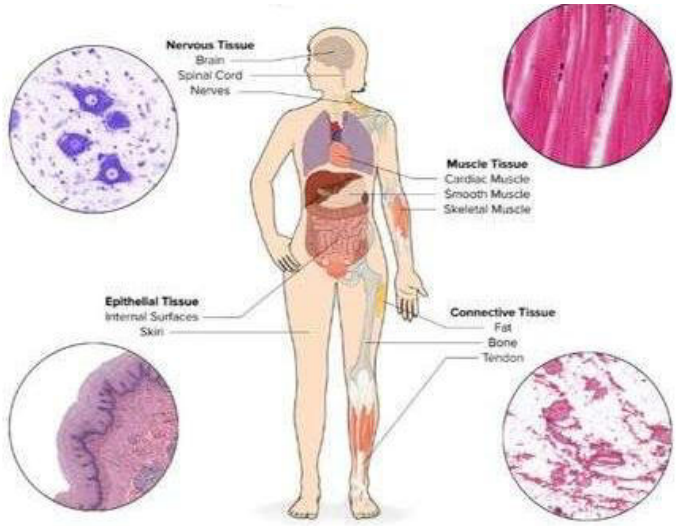


Figura 10. Órganos del cuerpo humano.

Fuente: Histology Guide (s.f.).

- **Nivel orgánico**

Los órganos se forman por la combinación de dos o más tipos de tejidos que trabajan juntos para llevar a cabo funciones específicas. Por ejemplo, el corazón está formado por tejido muscular, conectivo, epitelial y nervioso, y su función principal es bombear sangre a todo el organismo. Otros órganos incluyen el hígado, los pulmones, el cerebro y los riñones (Saladin, 2015)

Nivel de sistemas

Los órganos se organizan en sistemas que realizan funciones integradas y vitales para el cuerpo. Por ejemplo, el sistema digestivo transforma los alimentos en nutrientes; el sistema respiratorio intercambia gases; el sistema nervioso procesa estímulos y coordina respuestas; el sistema endocrino regula funciones mediante hormonas; el sistema

inmunológico defiende el organismo contra patógenos (Figura 10) (OpenStax, 2023)

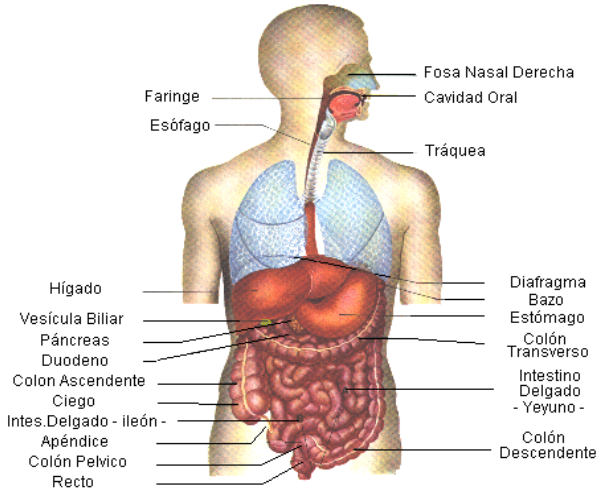


Figura 11. Órganos del cuerpo humano.

Fuente: Proyecto Salón Hogar (s.f.).

- **Nivel de organismo**

En el nivel más alto de organización, todos los sistemas del cuerpo trabajan de forma coordinada para formar un organismo completo, capaz de vivir, crecer, reproducirse y adaptarse al medio. El cuerpo humano representa un ejemplo complejo y eficiente de integración biológica.

1.2.6 Planos anatómicos y términos direccionales

La anatomía utiliza una terminología estandarizada para describir la ubicación de las estructuras del cuerpo humano. Esto es esencial para garantizar la precisión en áreas clínicas como cirugía, fisioterapia,

radiología y anatomía médica. Para lograrlo, se utilizan planos anatómicos y términos direccionales (Tortora & Derrickson, 2018)

1.2.7 Planos anatómicos

Los planos son líneas imaginarias que dividen el cuerpo humano para facilitar su estudio y localización de órganos.

1.2.8 Términos direccionales

Estos términos describen la posición relativa de estructuras anatómicas. Algunos de los más comunes son:

- Anterior / Posterior: delante / detrás.
- Superior / Inferior: más alto / más bajo en el cuerpo.
- Medial / Lateral: más cerca / más lejos de la línea media.
- Proximal / Distal: más cerca / más lejos del punto de origen de una extremidad.
- Superficial / Profundo: más cerca de la superficie / más interno.

Estos términos permiten una comunicación clara entre profesionales de la salud y son indispensables para describir movimientos, procedimientos quirúrgicos o hallazgos clínicos.

1.2.9 Cavidades corporales

Las cavidades corporales son espacios dentro del cuerpo que protegen, separan y sostienen los órganos internos. Estas cavidades están revestidas por membranas y, en algunos casos, contienen fluidos que reducen la fricción entre órganos durante sus movimientos (Saladin, 2015)

1. **Cavidad dorsal**

Se localiza en la parte posterior del cuerpo e incluye dos sub-cavidades: Cavidad craneal: protege el encéfalo.

2. **Cavidad vertebral o espinal**

Estas cavidades están protegidas por huesos (cráneo y columna vertebral) y por membranas como las meninges.

3. Cavidad ventral

Ubicada en la parte anterior del cuerpo, es más grande que la dorsal y se subdivide en:

- Cavidad torácica: contiene los pulmones, el corazón, el esófago y la tráquea. Está separada del abdomen por el diafragma.
- Cavidad abdominal: contiene órganos digestivos como el estómago, intestinos, hígado y bazo.
- Cavidad pélvica: contiene la vejiga urinaria, órganos reproductores internos y parte del intestino grueso (Tortora & Derrickson, 2018)

Estas cavidades permiten el acceso quirúrgico, el diagnóstico por imagen y el tratamiento dirigido en medicina moderna, siendo relevantes en áreas como la laparoscopía, resonancia magnética y ecografía.

1.2.10 Homeostasis y sistemas de retroalimentación

El mantenimiento de condiciones internas constantes, a pesar de las variaciones del entorno externo, es esencial para la vida. Este equilibrio

dinámico se conoce como homeostasis, y depende de la acción coordinada de múltiples sistemas corporales (Silverthorn, 2016)

Implica la regulación de parámetros vitales como la temperatura corporal, la presión arterial, el pH sanguíneo, la glucosa en sangre, entre otros. Esta regulación requiere sensores, centros de control (como el hipotálamo) y efectores que produzcan una respuesta para restablecer el equilibrio.

Mecanismos de retroalimentación

La homeostasis se logra principalmente mediante sistemas de retroalimentación, que son ciclos de control en los que una condición del cuerpo es monitorizada, evaluada y ajustada.

Retroalimentación negativa:

Es el mecanismo más común. Se activa cuando un cambio en una variable se desvía del rango normal, y la respuesta corporal busca revertir ese cambio.

Ejemplo: Cuando sube la glucosa en sangre, el páncreas libera insulina para disminuirla (OpenStax, 2023)

Retroalimentación positiva:

En lugar de revertir el cambio, este tipo de retroalimentación lo intensifica hasta que se alcanza un resultado deseado.

Ejemplo: Durante el parto, las contracciones uterinas estimulan la liberación de oxitocina, lo que intensifica las contracciones hasta la salida del bebé (Marieb & Hoehn, 2019)

Cuando estos mecanismos fallan o se alteran, pueden desarrollarse patologías. Por ejemplo, la incapacidad para regular la glucosa conduce a diabetes, o la pérdida de control térmico puede causar hipertermia o hipotermia.

1.3 Resumen

El cuerpo humano se concibe como un sistema biológico complejo, dinámico y altamente organizado, constituido por células que se integran en tejidos, órganos y sistemas funcionalmente interdependientes. Esta organización permite el funcionamiento coordinado del organismo, la respuesta eficaz a los estímulos del entorno y el mantenimiento del equilibrio del medio interno, aspectos esenciales para la adaptación fisiológica. En las ciencias de la salud, particularmente en la bioquímica farmacéutica, la comprensión de la estructura y la función del organismo resulta indispensable para el análisis y la aplicación racional de intervenciones terapéuticas.

La anatomía y la fisiología constituyen las disciplinas fundamentales para el estudio del cuerpo humano. La anatomía se orienta al análisis de la organización morfológica, mientras que la fisiología se centra en la comprensión de los procesos biológicos que regulan el funcionamiento del organismo. En el contexto farmacológico, el conocimiento integrado de ambas disciplinas permite explicar los procesos de absorción, distribución, metabolismo y excreción de los fármacos, así como los mecanismos responsables de sus efectos terapéuticos. La relación estructura-función se establece como un principio rector, en el cual la configuración anatómica condiciona las capacidades fisiológicas.

Desde una perspectiva metodológica, el estudio anatómico y fisiológico se apoya tanto en la disección tradicional como en tecnologías de imagen modernas, tales como la tomografía computarizada, la resonancia magnética y la ecografía. Asimismo, la fisiología emplea técnicas como la electrofisiología y la bioquímica clínica para el análisis funcional de órganos y sistemas. El desarrollo histórico de estas disciplinas, desde la Antigüedad hasta la consolidación de conceptos como el medio interno y la homeostasis, ha permitido la construcción de los fundamentos de la anatomía y la fisiología modernas.

Finalmente, la aplicación de los conocimientos anatómicos y fisiológicos resulta esencial en farmacología. La farmacocinética y la farmacodinámica se sustentan en la comprensión de la organización estructural y de los mecanismos fisiológicos que determinan la interacción entre los fármacos y el organismo. En conjunto, este capítulo establece las bases conceptuales necesarias para el estudio avanzado del cuerpo humano y su relación con la acción farmacológica.

El capítulo presenta una visión integral de la organización estructural y funcional del cuerpo humano como base para el estudio de la anatomía y la fisiología en las ciencias de la salud. Se describe la organización jerárquica del organismo, desde el nivel químico hasta el nivel de organismo, destacando cómo el incremento progresivo de complejidad permite la especialización funcional y la integración de los sistemas biológicos. Esta perspectiva resulta especialmente relevante para la bioquímica farmacéutica, al permitir comprender la interacción de los fármacos con estructuras específicas y su impacto sobre las funciones orgánicas.

Se analizan los niveles de organización biológica químico, celular, tisular, orgánico y sistémico enfatizando la relación inseparable entre estructura y función, así como la interdependencia entre anatomía y fisiología para la comprensión de los procesos vitales. Asimismo, se abordan los principales tipos de tejidos, la conformación de los órganos y la integración de estos en sistemas que garantizan el funcionamiento coordinado del organismo.

El capítulo también introduce la terminología anatómica estandarizada, los planos corporales, los términos direccionales y las cavidades corporales como herramientas fundamentales para la descripción precisa de las estructuras anatómicas y la comunicación en contextos clínicos y académicos. Finalmente, se desarrolla el concepto de homeostasis y los mecanismos de retroalimentación negativa y positiva que regulan el equilibrio interno, resaltando su importancia en el mantenimiento de la fisiología normal y en la comprensión del origen de diversas patologías cuando dichos mecanismos se alteran.

1.4 Preguntas de repaso

Opción múltiple

1. Un estudiante examina al microscopio una muestra de mucosa esofágica teñida y describe el epitelio que la reviste. ¿A qué ámbito de estudio corresponde ese trabajo?

A. Anatomía macroscópica, porque describe un órgano completo.

B. Anatomía microscópica, en su vertiente citológica.

C. Anatomía microscópica, en su vertiente histológica.

D. Fisiología, porque interpreta la función del epitelio.

2. El ascenso de la glucemia después de una comida provoca la liberación de insulina, que la devuelve a su rango normal. ¿Qué rasgo permite clasificar este mecanismo?

A. Amplifica la desviación inicial hasta alcanzar un resultado final.

B. Opera sin sensores ni centro de control.

C. Solo se activa cuando fallan los mecanismos nerviosos.

D. La respuesta se opone al cambio detectado y lo revierte.

3. Un mismo principio activo administrado por vía oral y por vía intravenosa alcanza concentraciones plasmáticas distintas. Según el capítulo, ¿qué ámbito explica principalmente esa diferencia?

A. La farmacocinética, porque cambian los procesos de absorción.

B. La farmacodinámica, porque cambia el receptor sobre el que actúa.

C. La anatomía microscópica del tejido hepático.

D. La electrofisiología de la pared intestinal.

4. Para describir una lesión del antebrazo situada más cerca del codo que de la muñeca, el término direccional adecuado es:

A. Distal.

B. Proximal.

C. Medial.

D. Superficial.

5. ¿Cuál de las siguientes correspondencias entre nivel de organización y ejemplo es correcta?

A. Nivel tisular: el corazón.

B. Nivel orgánico: el tejido epitelial.

C. Nivel químico: las proteínas y los lípidos.

D. Nivel celular: el sistema digestivo.

Preguntas abiertas y de aplicación

6. Explique el principio de complementariedad estructura-función y justifique, con un ejemplo tomado del capítulo, por qué conocer la estructura de un órgano permite anticipar su comportamiento fisiológico.

7. Compare la anatomía macroscópica con la microscópica: indique qué tipo de estructuras estudia cada una, qué instrumentos requiere y en qué subdisciplinas se divide la segunda.

8. Describa los tres compartimentos de la cavidad ventral, señale los órganos que aloja cada uno y explique qué estructura separa el compartimento torácico del abdominal.

9. Relacione la tomografía computarizada, la resonancia magnética y la ecografía con el tipo de estructura que cada técnica permite visualizar mejor, y explique por qué esa elección importa en la práctica clínica.

Reflexión e integración

10. El fallo sostenido de la regulación de la glucemia conduce a diabetes, y la pérdida del control térmico, a hipertermia o hipotermia. Argumente por qué la homeostasis puede considerarse el criterio que separa el estado de salud del de enfermedad.

11. Para un bioquímico farmacéutico, ¿por qué resulta insuficiente conocer únicamente el mecanismo molecular de un fármaco? Integre en su respuesta la farmacocinética, la farmacodinámica y el papel de la anatomía de los órganos implicados.

12. La retroalimentación positiva es menos frecuente que la negativa y concluye al alcanzarse un resultado concreto. Prediga qué ocurriría si careciera de ese punto de finalización y justifique por qué el organismo no puede sostener indefinidamente ese tipo de control.

CAPÍTULO II

2. SISTEMA NERVIOSO

2.1 Introducción del sistema nervioso

El sistema nervioso es un sistema altamente especializado encargado de la integración, regulación y coordinación de las funciones del organismo, así como de su interacción con el medio interno y externo. Su organización permite detectar estímulos, procesar la información y generar respuestas adecuadas a través de la activación de músculos y glándulas, garantizando la adaptación y la homeostasis corporal (Infermera Virtual, 2013).

Desde el punto de vista anatómico, el sistema nervioso se divide en sistema nervioso central y sistema nervioso periférico, estructuras que actúan de manera interdependiente mediante una comunicación continua y bidireccional. El sistema nervioso central concentra las funciones de procesamiento e integración más complejas, mientras que el sistema nervioso periférico establece la conexión funcional entre dichos centros y los distintos tejidos del organismo (Ferreres, 2022).

El capítulo describe la anatomía del sistema nervioso, abordando sus principales divisiones y componentes estructurales, con el fin de proporcionar una base sólida para la comprensión de sus funciones fisiológicas y su relevancia clínica.

2.1.1 Anatomía del sistema nervioso

El sistema nervioso es una red compleja de estructuras especializadas (encéfalo, médula espinal y nervios) que tienen como misión controlar y regular el funcionamiento de los diversos órganos y sistemas,

coordinando su interrelación y la relación del organismo con el medio externo (Figura 12). “El sistema nervioso está organizado para detectar cambios en el medio interno y externo, evaluar esta información y responder a través de ocasionar cambios en músculos o glándulas” (Infermera Virtual, 2013, p. 2). El sistema nervioso se divide en sistema nervioso central (SNC) y sistema nervioso periférico. El SNC incluye el cerebro y la médula espinal (Figura 2.1), mientras que el sistema nervioso periférico comprende todo lo demás. Las funciones del SNC incluyen recibir, procesar y responder a la información sensorial.

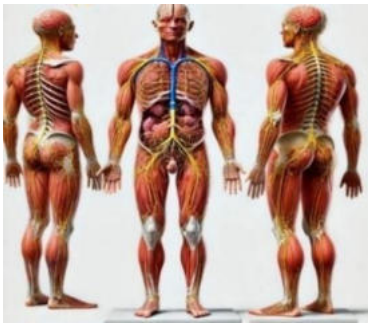


Figura 12. Sistema nervioso.

Fuente: Ferreres (2022).

2.1.2 Sistema nervioso periférico

"El sistema nervioso periférico se encuentra por fuera del sistema nervioso central y está formado por receptores sensoriales (receptores táctiles, auditivos, visuales) y los nervios que son vías de comunicación con el nivel central" (Codina, 2021, p. 4). El SNP tiene dos partes anatómicas funcionalmente diferenciadas: el sistema nervioso periférico somático y el sistema nervioso periférico autónomo.

2.1.2.1 Sistema nervioso periférico somático

La parte somática del SNP está formada por los nervios craneales (12 pares) que salen por agujeros del cráneo y por los nervios raquídeos (31 pares) que salen por agujeros de la columna. Los nervios somáticos conducen al SNC información aferente proveniente de los órganos sensoriales especializados (ojos, oído, gusto, olfato) de la piel, músculos, tendones, huesos y articulaciones y llevan desde el SNC comandos eferentes a los músculos esqueléticos de la cabeza, tronco y miembros.

"La división somática motora presenta las neuronas en la asta anterior de la médula espinal o los núcleos grises del tronco del encéfalo. Las terminaciones axónicas van a terminar en la musculatura esquelética. Su acción sobre los músculos diana es la contracción de tipo voluntaria y exclusivamente excitatoria" (Codina, Mancini & Sánchez, 2021, p. 6).

2.1.2.2 Sistema nervioso periférico autónomo (sna)

Se encarga de la regulación involuntaria de las funciones internas del cuerpo. Conecta el SNC con las vísceras y glándulas, controlando actividades como el latido del corazón, la respiración, la digestión y la secreción glandular. Se divide en dos ramas (Figura 13):

- **División simpática:** Prepara al cuerpo para situaciones de acción o estrés (por ejemplo, aumentando la frecuencia cardíaca). Tiene un efecto activador tanto físico como psicológico.
- **División parasimpática:** Favorece el descanso, la conservación de energía y la reparación del organismo. Es psicológicamente relajante.

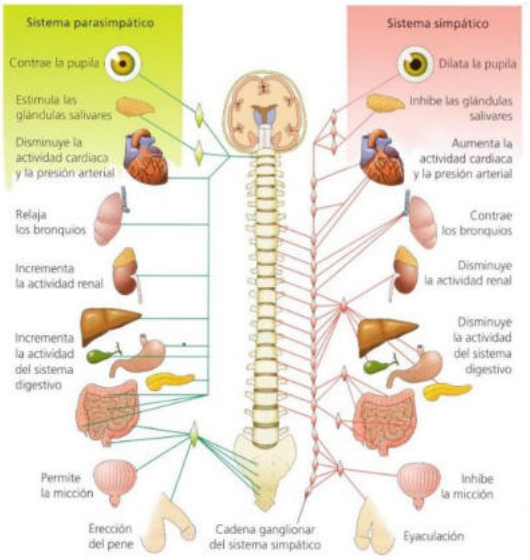


Figura 13. Comparación entre las funciones del sistema nervioso simpático y parasimpático.

Fuente: Autor desconocido (2021).

Ambas divisiones suelen inervar los mismos órganos (Figura 13), pero con efectos opuestos para mantener el equilibrio del cuerpo. "El SNA trabaja conjuntamente con el sistema endócrino en el mantenimiento de la homeostasis (ambiente interno estable). La respuesta autónoma es más rápida que la endocrina y se ejerce mediante conexiones nerviosas con las vísceras, en tanto la actividad endócrina se ejerce mediante la secreción de hormonas que, llevadas por la sangre, modifican la actividad de los tejidos" (Ferreres, 2022, p. 5).

2.1.3 Sistema nervioso central

El sistema nervioso central es la parte del sistema nervioso que se encuentra dentro de cavidades óseas (Figura 14), es decir, está protegido

por el cráneo (donde se aloja el encéfalo) y por la columna vertebral (que resguarda la médula espinal).

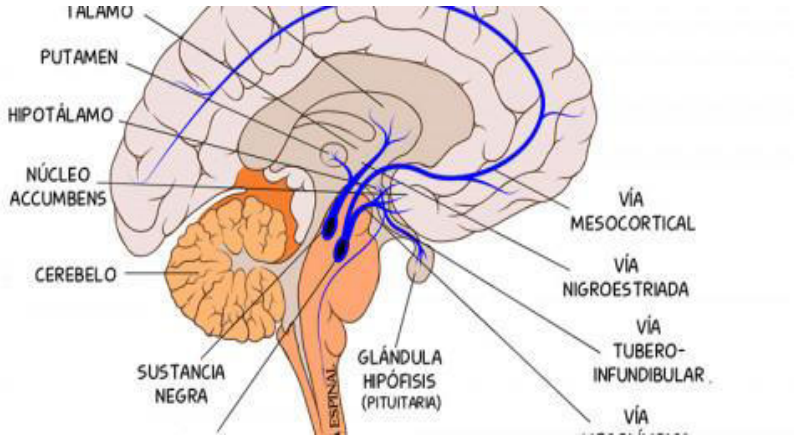


Figura 14. Sistema nervioso central.

Fuente: Carrillo (2019).

"El sistema nervioso, en particular el central, está formado por estructuras muy delicadas que cuentan con una serie de barreras de protección, no sólo de tipo estructural ósea y membranosa, sino también por una de naturaleza química, que lo protege de la acción de los agentes patógenos que pudieran ingresar al organismo" (Codina, Mancini & Sánchez, 2021, p. 8).

2.1.3.1 La médula espinal

Se extiende dentro del canal vertebral de la columna. Es un canal de comunicación entre el encéfalo y el resto del cuerpo. Interviene en actos reflejos y en la transmisión de señales motoras y sensoriales. Su organización interna muestra sustancia gris en el centro (con forma de mariposa) y sustancia blanca en la periferia.

2.1.3.2 El encéfalo

Se encuentra dentro del cráneo (Figura 15). Está dividido en:

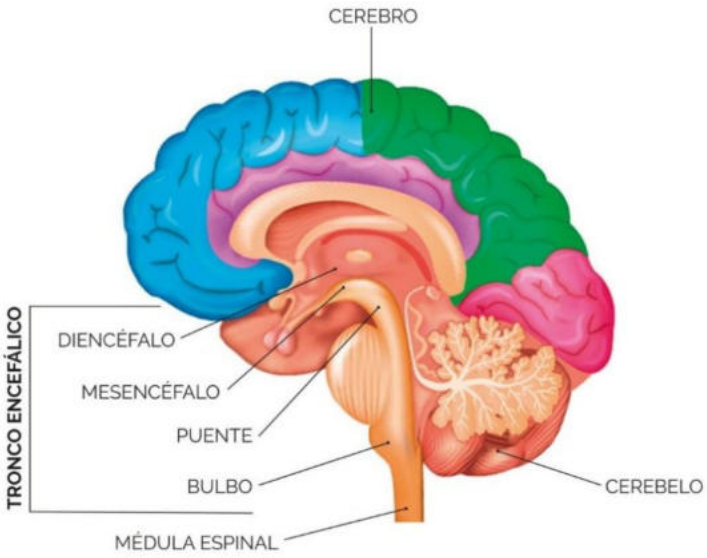


Figura 15. Anatomía del encéfalo.

Fuente: Esquema.net. (s.f.).

Cerebro: Encargado del pensamiento, la memoria, la emoción, el lenguaje y el control consciente del cuerpo.

Tronco encefálico: Regula funciones automáticas vitales como la respiración, la frecuencia cardíaca y el sueño.

Cerebelo: Coordina el equilibrio, el movimiento y la postura.

A nivel macroscópico, el SNC está compuesto por dos tipos de tejido nervioso una sustancia gris que tiene un color más oscuro y una sustancia blanca. La sustancia gris está formada por cuerpos neuronales, dendritas y células de soporte. Se encarga principalmente del procesamiento de la información.

Corteza: Capa externa que recubre los hemisferios cerebrales y el cerebelo. Es una estructura estratificada con entre 3 y 6 capas. "La corteza cerebral es la capa más externa que rodea el cerebro. Está compuesta de materia gris y alberga miles de millones de neuronas que realizan funciones ejecutivas de alto nivel. La corteza se divide en cuatro lóbulos: frontal, parietal, occipital y temporal, mediante diferentes surcos" (Shipp, 2007, p. R443).

Núcleos: Grupos de cuerpos neuronales en el interior del encéfalo. Algunos ejemplos son el tálamo, el complejo amigdalino, el cuerpo estriado o el locus niger en el tronco encefálico.

La sustancia blanca, tiene un color claro debido a la mielina, una capa lipídica que recubre los axones de las neuronas. Su función es transmitir información rápidamente entre diferentes partes del sistema nervios

Las siete regiones principales del sistema nervioso central

Hay siete regiones en el SNC humano que se pueden distinguir macroscópicamente. En dirección caudo-rostral son: 1) médula espinal, 2) bulbo raquídeo, 3) protuberancia, 4) mesencéfalo, 5) cerebelo, 6) diencéfalo y 7) hemisferios cerebrales. Analizaremos la disposición general de cada una de estas regiones.

Está organizada en segmentos, cada uno de los cuales se conecta con una parte específica del cuerpo. Existen 31 pares de nervios raquídeos, que emergen de la médula por medio de dos raíces: una posterior sensitiva y una anterior motora. Por estas raíces, la médula recibe información desde la piel, músculos, articulaciones y órganos internos, y envía señales motoras a los músculos, además de fibras del sistema nervioso autónomo, tanto simpáticas como parasimpáticas.

“En el tronco del encéfalo también se sitúa la formación reticular, un conjunto de pequeñas áreas de sustancia gris entremezcladas con cordones de sustancia blanca formando una red. Esta formación se extiende a lo largo de todo el tronco del encéfalo y llega también hasta la médula espinal y el diencéfalo. Este sistema se encarga de mantener la conciencia y el despertar” (Infermera Virtual, 2013).

A nivel motor, el tronco cerebral, controla músculos de la cabeza y el cuello involucrados en funciones específicas como los movimientos de la cabeza y ojos, la alimentación, el habla y la expresión facial.

Localizado por encima de la médula el bulbo contiene núcleos grises que participan en la regulación de la presión sanguínea y la respiración y contiene parte de los núcleos que participan en el gusto, la audición y el equilibrio. Los quimiorreceptores centrales responden principalmente a cambios en la concentración de CO2 y H+ detectados en el sistema nervioso central y participan en la regulación de la ventilación (Nattie & Li, 2012).

“El hipotálamo también se comunica con la glándula pituitaria para liberar o inhibir la hormona antidiurética, la hormona liberadora de corticotropina, la hormona liberadora de gonadotropina, la hormona liberadora de la hormona del crecimiento, la hormona inhibidora de la prolactina, la hormona liberadora de tiroides y la oxitocina" (Flament-Durand, 1980, p. 364).

“La corteza cerebral es un manto de sustancia gris de unos 5 mm de espesor que recubre los hemisferios. Aunque en los mamíferos inferiores la corteza es lisa, a partir de los primates muestra un aspecto arrugado debido a que el cerebro evolucionó más rápido que el cráneo"

(Ferreres, 2022). Su principal característica es su gran desarrollo y los repliegues que la cubren, una evolución adaptativa que ocurrió cuando el cerebro creció más rápido que el cráneo.

Si la corteza humana se extendiera, ocuparía una superficie de un metro cuadrado y medio. La corteza se divide en diferentes lóbulos (frontal, parietal, temporal y occipital) que llevan el nombre de los huesos que los cubren.

2.2 Fisiología del sistema nervioso central y autónomo

El sistema nervioso es un sistema altamente especializado encargado de la integración, coordinación y regulación de las funciones del organismo, permitiendo la respuesta adecuada a los estímulos internos y externos y el mantenimiento de la homeostasis. Su compleja organización anatómica y funcional lo convierte en un eje central para el estudio de las ciencias de la salud.

Este capítulo presenta las generalidades del sistema nervioso central, abordando su estructura, mecanismos de protección y composición celular. Asimismo, se analiza la fisiología del sistema nervioso autónomo, destacando su papel involuntario en la regulación de las funciones viscerales, y se describen los componentes estructurales de los nervios periféricos, enfatizando la organización de las fibras nerviosas y sus envolturas. En conjunto, los contenidos desarrollados proporcionan una base esencial para la comprensión del funcionamiento integral del sistema nervioso.

2.2.1 Generalidades del sistema nervioso central

El sistema nervioso central está constituido por el encéfalo y la médula espinal. Ambos están cubiertos por tres membranas que les sirven tanto para la nutrición como de protección. De esas membranas, la más externa es denominada duramadre o paquimeninge, la intermedia es la aracnoides y la más interna es llamada piamadre. La aracnoides y la piamadre, juntas, son conocidas como leptomeninges.

Entre las tres membranas también existen tres espacios:

El epidural: Está comprendido entre el periostio del hueso del conducto vertebral y la superficie externa de la duramadre. Contiene venas y nervios.

El subdural: Está comprendido entre la superficie interna de la duramadre y la superficie externa de la aracnoides. Es un espacio potencial en el que está contenido el líquido seroso.

El subaracnoideo: Está comprendido entre una serie de trabéculas conectivas que se desprenden de la membrana aracnoides y se insertan en la membrana piamadre. Contiene el líquido cefalorraquídeo, cuya función es actuar como una especie de amortiguador hidráulico.

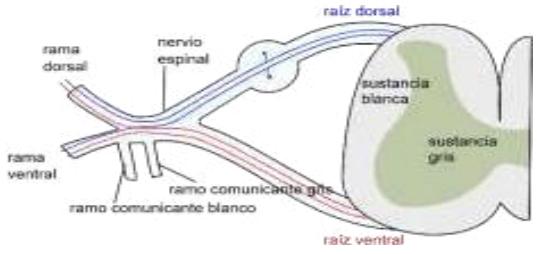


Figura 16. Nervios Raquídeos.

Fuente: Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2017). Anatomía con orientación clínica.

El nervio raquídeo está formado por las fibras de la raíz posterior que se dirigen al sistema nervioso central (aferentes) y por las fibras de la raíz anterior que se dirigen a la periferia (eferentes). Un nervio es, por tanto, un conjunto de fibras nerviosas (Figura 16) con funciones y direcciones diferentes.

La estructura interna del sistema nervioso central se divide en sustancia gris y en sustancia blanca. La sustancia gris está constituida, principalmente, por los cuerpos celulares, que son un conjunto de neuroglias carentes de mielina y de abundantes vasos sanguíneos. La sustancia blanca, en cambio, está formada por los axones, las fibras nerviosas neuroglias y los vasos sanguíneos. El sistema nervioso central se compone, además, por dos tipos de células básicas: las neuronas y las células gliales (neuroglias). Estas últimas tienen la función central de soporte del sistema nervioso central (pegamento neural), son de cinco a 10 veces más que las propias neuronas y no relacionan la transmisión neuronal en directo. Las células gliales son el origen más común de tumores cerebrales (gliomas) (Aguilar, 2011)

2.2.2 Fisiología del sistema nervioso autónomo

Se ocupa de mantener la compleja homeostasia del organismo, en respuesta tanto a las alteraciones del medio interno como a los estímulos exteriores. Su funcionamiento llega a todas las partes del organismo, afectando directa o indirectamente todos los órganos *(Figura 2.6*) y todos los sistemas. Es involuntario, pero actúa coordinadamente con el sistema nervioso cerebroespinal o voluntario.

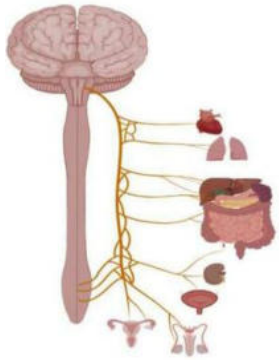


Figura 17. Sistema Nervioso Autónomo.

Fuente: Adaptado de Práctica No. 5: Sistema Nervioso Autónomo, por uDocz (s.f.). (www.udocz.com).

Las funciones básicas que cumple el sistema nervioso autónomo pueden ser agrupadas en tres grupos:

Funciones sensoriales: Gran parte de las actividades del sistema nervioso se inician por la experiencia sensorial que llega de los receptores sensoriales, entre ellos los visuales, los auditivos, los táctiles y otros.

Funciones integradoras: Consisten en la capacidad del sistema nervioso central de procesar información sensorial, analizándola primero y luego almacenando parte de ella, acción que va seguida de la toma de decisiones para tener una respuesta apropiada ante determinada situación.

Funciones motrices: Son las que permiten responder a las decisiones de la función integradora, para regular diversas actividades corporales, entre ellas, la contracción de los músculos esqueléticos de todo el cuerpo, la contracción del músculo liso en los órganos internos y la secreción de las glándulas exocrinas y endocrinas, en algunas partes del cuerpo.

2.2.3 Componentes de los nervios

Los nervios están conformados por fibras nerviosas. Éstas son un subsistema generado por el axón y por las proyecciones periféricas de las neuronas sensitivas (*Figura 18*) y de sus membranas. Se trata, además, de prolongaciones periféricas de las neuronas.

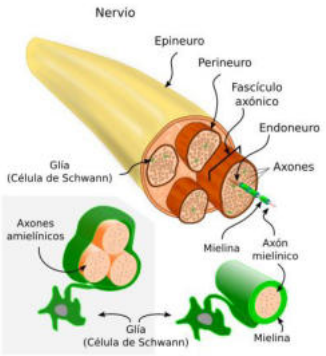


Figura 18. Estructura del nervio.

Fuente: Mejías et al. (2014).

En el sistema periférico, la mayor parte de fibras nerviosas tiene una cubierta de mielina y un neurilema.

Este último componente no está presente en las fibras del sistema nervioso central, puesto que las vainas que envuelven a los axones de dicho sistema están formadas por prolongaciones de los oligodendrocitos. La mielina es un aislante que aumenta la velocidad de conducción.

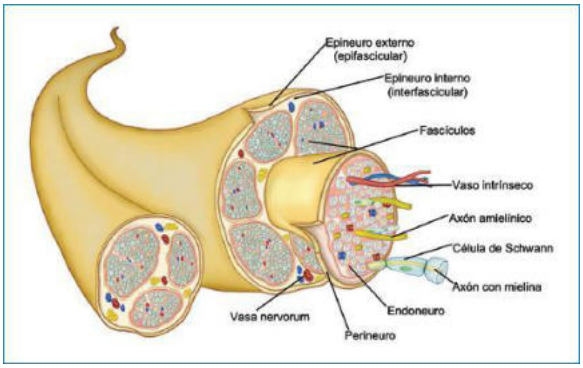


Figura 19. Estructura del nervio periférico.

Fuente: Muñoz et al. (2022).

Una fibra nerviosa clásica consta de: un cilindroeje, un axolema o membrana celular del axón, mielina (que rodea al axón) y neurilema (que rodea a la fibra). Varios haces de fibras nerviosas forman paquetes que corren juntos, a manera de cable, integrando varios nervios.

Cada fibra nerviosa, a su vez, está cubierta por un tejido fibroso o endoneurio, que une las fibras en un haz o fascículo. Por su parte, el haz o fascículo está cubierto por una membrana llamada perineurio (*Figura 19),* en tanto que un grupo (paquete) de haces nervioso está cubiertos por una membrana denominada epineurio (Cormack, 1988).

2.3 Bases bioquímicas y enfoque farmacéutico del sistema nervioso

El sistema nervioso constituye uno de los sistemas más complejos y especializados del organismo, cuya función depende de una organización molecular precisa y de mecanismos bioquímicos altamente regulados. Desde una perspectiva bioquímica, la transmisión de la información nerviosa se basa en la generación de señales eléctricas y químicas que permiten la comunicación entre neuronas a través de la

sinapsis, proceso fundamental para la integración y coordinación de las funciones corporales (Marieb, 2008b; Professional, 2025).

El análisis de estos procesos ha sido determinante para el desarrollo de la farmacología del sistema nervioso, ya que ha permitido identificar blancos moleculares involucrados en la neurotransmisión, la excitabilidad neuronal y la protección del tejido nervioso. La comprensión de la composición bioquímica del tejido nervioso, así como del papel de las barreras protectoras, resulta esencial para explicar la farmacocinética y farmacodinamia de los fármacos que actúan sobre el sistema nervioso central (Cipolla, 2009; Balero et al., 2021).

En este capítulo se abordan los fundamentos bioquímicos del sistema nervioso y su aplicación farmacéutica, incluyendo el estudio de los neurotransmisores, los mecanismos de acción de los principales grupos farmacológicos, el impacto de las drogas de abuso y el abordaje terapéutico de enfermedades neurológicas. Este enfoque integrador permite relacionar las alteraciones moleculares y celulares con sus manifestaciones clínicas, así como comprender las estrategias farmacológicas dirigidas a modular dichos procesos con fines terapéuticos (Freedman, 2023; Gronich, 2024).

A nivel bioquímico, este sistema utiliza señales eléctricas y químicas para facilitar la comunicación celular. Desde la farmacología, la comprensión de estos procesos ha permitido el desarrollo de medicamentos que modifican funciones neuronales (Figura 20) para tratar trastornos como la depresión, epilepsia y enfermedades neurodegenerativas (Marieb, 2008b; Balero et al., 2021).

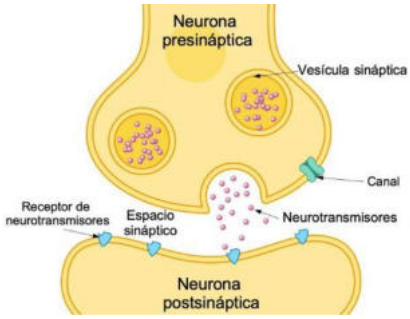


Figura 20. Sinapsis neuronal.

Fuente: Rhoton, (2024).

2.3.1 Composición bioquímica del tejido nervioso

Las neuronas presentan orgánulos especializados, como los corpúsculos de Nissl (retículo endoplasmático rugoso) y neurofilamentos (*Figura 21*), que participan en la síntesis de proteínas y el mantenimiento estructural (Marieb, 2008c).

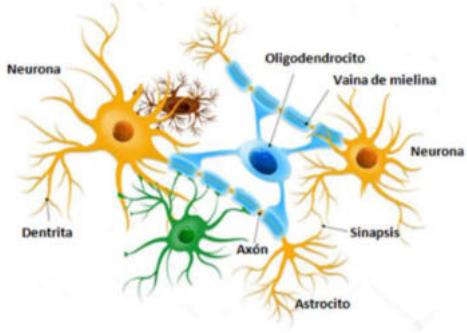


Figura 21. Neurona.

Fuente: Laredo & Menéndez, (2021).

La mielina compuesta mayoritariamente por lípidos, es fundamental para la velocidad de conducción del impulso nervios.

Esta envoltura lipídica, sintetizada por oligodendrocitos en el SNC y por células de Schwann en el SNP, contiene colesterol,

galactosilceramida, esfingomielina y fosfolípidos, y participa activamente en la eficiencia sináptica (Poitelon et al., 2020; Histología del tejido nervioso, 2024).

2.3.1.1 Barreras protectoras y componentes bioquímicos

La barrera hematoencefálica (BHE) y la barrera hematorraquídea forman sistemas de protección que limitan el acceso de toxinas, patógenos y fármacos al SNC. Están compuestas por células endoteliales unidas por uniones estrechas, apoyadas por astrocitos.

Estas estructuras son cruciales para la farmacocinética de los medicamentos, ya que impiden el paso de compuestos hidrosolubles y permiten el ingreso de sustancias lipofílicas o que utilizan transportadores específicos (Cipolla, 2009).

Además, las proteínas transportadoras como GLUT1 (para glucosa) y LAT1 (para aminoácidos) desempeñan un papel esencial en el suministro metabólico del cerebro. Esto tiene implicancias directas en el diseño de medicamentos que puedan atravesar la BHE de forma eficaz (Balero et al., 2021).

2.3.1.2 Neurotransmisores y su base molecular.

Los neurotransmisores son moléculas químicas que permiten la comunicación entre neuronas. (Figura 22).

Su acción depende de una secuencia ordenada de síntesis enzimática, almacenamiento en vesículas sinápticas, liberación por exocitosis, interacción con receptores postsinápticos y degradación o recaptación por proteínas específicas (Professional, 2025).

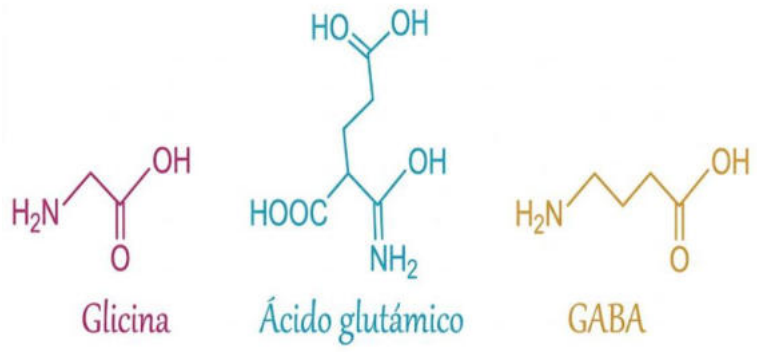


Figura 22. Estructuras químicas de varios neurotransmisores.

Fuente: Purves (2018).

En la sinapsis colinérgica, por ejemplo, la acetilcolina es sintetizada por la colina acetiltransferasa, y degradada por la acetilcolinesterasa, ambas posibles blancos de intervención farmacológica (Balero et al., 2021).

2.3.1.3 Fármacos para el sistema nervioso

Los medicamentos que actúan sobre el sistema nervioso central pueden clasificarse en varias categorías según su mecanismo de acción. Los analgésicos como los opioides se unen a receptores mu y modulan la percepción del dolor; los AINEs actúan inhibiendo enzimas ciclooxigenasas (COX). Los anestésicos interfieren con los canales de sodio para bloquear la conducción nerviosa.



Figura 23. Representación de medicamentos en cápsulas y tabletas.

Fuente: Sanderson, (2018).

Los antiepilépticos como el valproato actúan sobre canales de calcio o GABA. Los antidepresivos modifican la recaptación de monoaminas, mientras que los antipsicóticos antagonizan receptores de dopamina. Las benzodiacepinas, por otro lado, potencian la acción del GABA sobre sus receptores tipo A, aumentando la inhibición neuronal (Gronich, 2024).

2.3.2 Neurofarmacología y mecanismos de acción

La farmacodinamia estudia cómo actúan los fármacos en el organismo, mientras que la farmacocinética analiza cómo se absorben, distribuyen, metabolizan y eliminan.

En el sistema nervioso, estas propiedades están profundamente influenciadas por la capacidad del fármaco para atravesar la BHE y su especificidad hacia receptores del SNC. Nuevas estrategias farmacéuticas han desarrollado moléculas con mayor lipofilia o nanopartículas transportadoras para superar barreras biológicas. También se utilizan profármacos que se activan tras atravesar la BHE (Gronich, 2024; Balero et al., 2021).

2.3.3 Drogas de abuso y neurotoxicidad

Sustancias como el alcohol, la cocaína, el cannabis y las metanfetaminas alteran la liberación y recaptación de neurotransmisores. (Figura 23) Estos cambios pueden inducir neuro adaptaciones que afectan circuitos de recompensa, aprendizaje y memoria. El consumo prolongado genera estrés oxidativo, inflamación y muerte neuronal, lo que puede derivar en neurodegeneración (Alberto y Carlos, s. f.)



Figura 24. Imagen ilustrativa sobre el tabaquismo.

Fuente: Pérez et al, (2023).

2.3.4 Enfermedades neurológicas y abordaje farmacológico

Enfermedades como el Parkinson, Alzheimer, epilepsia y esclerosis múltiple tienen bases bioquímicas diversas: la pérdida de neuronas dopaminérgicas, la acumulación de proteínas beta-amiloide, la disfunción de canales iónicos o la desmielinización, respectivamente. El tratamiento farmacológico incluye el uso de agonistas dopaminérgicos, inhibidores de colinesterasa, inmunomoduladores y anticonvulsivos. Además, se investiga el uso

de anticuerpos monoclonales y terapia génica como alternativas emergentes (Freedman, 2023; Balero et al., 2021.

2.4 Aplicaciones clínicas

Caso clínico 1. Accidente cerebrovascular en paciente con comorbilidades cardiometabólicas

1. Contextualización y presentación clínica

Paciente masculino de 59 años que acude al servicio de emergencia. Se encuentra hemodinámicamente estable al ingreso.

Antecedentes patológicos personales:

- Hipertensión arterial de diez años de evolución, en tratamiento con losartán 100 mg.
- Diabetes mellitus, en tratamiento con la combinación linagliptina/metformina 2,5/500 mg (Trayenta Duo).
- Clopidogrel 75 mg por vía oral cada día.
- Terapia física los lunes, miércoles y viernes.

Antecedentes patológicos familiares:

- Padre: cáncer de próstata; en terapia de sustitución renal mediante hemodiálisis.
- Madre: enfermedad de Alzheimer en estadio 5.
- Hermano: accidente cerebrovascular.

Hábitos: fuma; no consume alcohol ni refiere consumo de drogas; realiza caminatas de 30 minutos diarios.

El paciente presenta antecedentes de diabetes mellitus tipo 2, insuficiencia renal aguda y accidente cerebrovascular con complicación en la movilidad, diagnosticado hace aproximadamente seis meses. Se encuentra en rehabilitación física los días lunes, miércoles y viernes.

2. Evaluación diagnóstica

Signos vitales al ingreso:

- Presión arterial: 170/80 mmHg.
- Frecuencia cardíaca: 80 lpm.
- Frecuencia respiratoria: 20 rpm.
- Temperatura: 36 °C.
- Saturación de oxígeno: 95 %.

Diagnósticos registrados en la historia clínica:

- Insuficiencia renal aguda.
- Diabetes mellitus con complicaciones renales.
- Accidente cerebrovascular (I63.4).

3. Integración anatómica, fisiológica y fisiopatológica

El caso pertenece al capítulo del sistema nervioso porque el cuadro que motiva el seguimiento es un accidente cerebrovascular, es decir, la interrupción del aporte sanguíneo a una región del encéfalo. El tejido nervioso depende de un suministro continuo de oxígeno y glucosa, de modo que la pérdida de perfusión compromete con rapidez la función de las neuronas del territorio afectado.

La complicación de la movilidad que refiere el paciente traduce el compromiso de las vías motoras: la orden voluntaria de movimiento se origina en la corteza y desciende hasta la médula espinal, donde alcanza las motoneuronas que inervan la musculatura esquelética. Cuando esa vía se interrumpe en algún punto de su trayecto, el músculo conserva su estructura, pero deja de recibir la orden, y de ahí la necesidad de rehabilitación física para mantener el trofismo y recuperar función. La historia clínica de este caso no precisa la localización de la lesión, dato que no debe suponerse.

Las comorbilidades explican el contexto en que se produjo el evento. La hipertensión arterial y la diabetes mellitus son procesos que deterioran la pared vascular de forma sostenida, y el registro de 170/80 mmHg al ingreso muestra que la presión no está en cifras de control. El antecedente de accidente cerebrovascular en un hermano añade un componente familiar, y el tabaquismo activo es el único factor de riesgo modificable que el paciente mantiene. La insuficiencia renal aguda registrada en los diagnósticos condiciona además el manejo de todo fármaco de eliminación renal.

4. Abordaje terapéutico y farmacológico

El tratamiento declarado en la historia comprende losartán 100 mg para la hipertensión arterial, la combinación linagliptina/metformina 2,5/500 mg para la diabetes y clopidogrel 75 mg diarios como antiagregante plaquetario. Se completa con terapia física tres días por semana. El caso no aporta información sobre otros fármacos, y no debe presuponerse ninguno.

5. Consideraciones bioquímico-farmacéuticas

En los tratamientos dirigidos a dianas del sistema nervioso central, la capacidad del fármaco para atravesar la barrera hematoencefálica condiciona su exposición al tejido nervioso. En este caso, sin embargo, la farmacoterapia descrita se orienta principalmente al control de factores vasculares y metabólicos asociados al riesgo y al seguimiento del paciente.

La coexistencia de deterioro renal con un tratamiento antidiabético e hipotensor obliga a revisar la idoneidad de las dosis frente a la función renal, competencia propia del seguimiento farmacoterapéutico. La antiagregación con clopidogrel exige vigilar signos de sangrado y valorar interacciones con cualquier fármaco que se añada.

6. Monitoreo y seguimiento

Los parámetros que el propio caso permite seguir son las cifras de presión arterial, el control glucémico, la función renal —comprometida según el diagnóstico registrado—, la tolerancia a la antiagregación y la evolución de la movilidad a lo largo de la rehabilitación.

7. Rol del bioquímico farmacéutico

Corresponde al bioquímico farmacéutico validar el tratamiento y hacer su seguimiento, comprobar que las dosis sean adecuadas al estado de la función renal, detectar interacciones, interpretar los parámetros bioquímicos de control, vigilar y notificar reacciones adversas, educar al paciente sobre la administración correcta de sus medicamentos y sobre el abandono del tabaco, reforzar la adherencia a un tratamiento crónico y trasladar al equipo sanitario cualquier hallazgo que aconseje

revisar la terapia. Las decisiones de diagnóstico y de prescripción corresponden al facultativo.

8. Claves de aprendizaje

- El tejido nervioso no tolera la interrupción del flujo sanguíneo: comprender la irrigación encefálica es comprender por qué un accidente cerebrovascular produce déficit funcional inmediato.
- Un déficit motor no significa que el músculo esté enfermo, sino que la vía nerviosa que lo gobierna se ha interrumpido; de ahí el sentido de la rehabilitación.
- La hipertensión y la diabetes mal controladas no son antecedentes accesorios: son el terreno sobre el que se produce el evento y condicionan a la vez el tratamiento posterior.

2.5 Resumen

El sistema nervioso es un sistema altamente especializado encargado de la integración, regulación y coordinación de las funciones del organismo y de su interacción con el medio interno y externo. Anatómicamente, se divide en SNC y SNP, los cuales se comunican de manera bidireccional para garantizar la transmisión y el procesamiento de la información.

El SNP conecta el SNC con los órganos y tejidos, y se subdivide en componentes somático y autónomo. El SNP regula la sensibilidad y el control voluntario de la musculatura esquelética, mientras que el SNC controla de forma involuntaria las funciones viscerales a través de sus divisiones simpática y parasimpática, contribuyendo a la homeostasis. El SNC comprende la médula espinal y el encéfalo, estructuras protegidas por cavidades óseas. La médula espinal participa en la

transmisión de impulsos nerviosos y en los actos reflejos, mientras que el encéfalo integra funciones superiores, automáticas y de coordinación motora, sustentadas por la organización de la sustancia gris y la sustancia blanca.

El capítulo desarrolla los aspectos fundamentales del sistema nervioso, abordando la organización anatómica y funcional del sistema nervioso central, así como sus estructuras de protección y composición celular. Se describen la sustancia gris y la sustancia blanca, y el papel de las neuronas y las células gliales en el soporte y funcionamiento del tejido nervioso. Asimismo, se analiza la fisiología del sistema nervioso autónomo, destacando su función en el mantenimiento de la homeostasis mediante la regulación involuntaria de actividades sensoriales, integradoras y motoras. Finalmente, se examinan los componentes estructurales de los nervios periféricos, haciendo énfasis en la organización de las fibras nerviosas, sus envolturas y la importancia de la mielina en la conducción del impulso nervioso.

El sistema nervioso constituye una entidad biológica cuya funcionalidad depende de una organización molecular precisa y de mecanismos bioquímicos que coordinan la comunicación neuronal mediante señales eléctricas y químicas. Este proceso, fundamental para la integración de las funciones corporales, se basa en la sinapsis y en la integridad de estructuras especializadas como los corpúsculos de Nissl y la mielina. Esta envoltura lipídica, sintetizada por oligodendrocitos y células de Schwann, resulta esencial para garantizar la velocidad de conducción del impulso nervioso y la eficiencia en la transmisión de la información.

La eficacia de los fármacos que actúan sobre este sistema está condicionada por la barrera hematoencefálica, la cual protege el tejido nervioso limitando el acceso de sustancias mediante uniones endoteliales estrechas y el soporte de astrocitos. Esta selectividad biológica determina la farmacocinética de los medicamentos, favoreciendo el ingreso de moléculas lipofílicas o de aquellas que emplean transportadores específicos como GLUT1 y LAT1. Por su parte, la comunicación química se articula a través de neurotransmisores, cuyo ciclo de síntesis y degradación ofrece blancos moleculares clave para modular la excitabilidad y la protección neuronal.

El abordaje terapéutico abarca diversos grupos farmacológicos, desde analgésicos que modulan la percepción del dolor hasta psicofármacos que ajustan la neurotransmisión de monoaminas o potencian la inhibición GABAérgica. No obstante, este equilibrio es vulnerable a sustancias de abuso que provocan estrés oxidativo y neurotoxicidad, así como a enfermedades como el Parkinson y el Alzheimer, caracterizadas por disfunciones moleculares específicas. El tratamiento actual integra desde agonistas tradicionales hasta terapias avanzadas, como los anticuerpos monoclonales, orientados a restaurar la homeostasis del sistema.

Este capítulo aborda los fundamentos bioquímicos del sistema nervioso y su aplicación farmacéutica, describiendo los procesos clave de la neurotransmisión, el papel de las barreras biológicas y los mecanismos de acción de los principales grupos farmacológicos. Mediante un enfoque integrador, se relacionan las alteraciones moleculares con sus

manifestaciones clínicas, proporcionando una visión integral sobre las estrategias terapéuticas dirigidas a modular las funciones neuronales y el abordaje de las principales patologías neurológicas.

2.6 Preguntas de repaso

Opción múltiple

1. Un fármaco no alcanza concentraciones eficaces en el tejido encefálico pese a mantener niveles plasmáticos adecuados. Según el capítulo, la explicación más probable es que:

A. Se une de forma irreversible a la mielina de los nervios periféricos.

B. Es degradado por los astrocitos antes de alcanzar la sinapsis.

C. La sustancia gris carece de irrigación sanguínea.

D. No consigue atravesar la barrera hematoencefálica.

2. La diferencia fundamental entre la sustancia gris y la sustancia blanca del sistema nervioso central radica en:

A. El predominio de cuerpos neuronales frente al predominio de fibras mielinizadas.

B. La ausencia total de células gliales en la sustancia blanca.

C. La localización exclusiva de la sustancia gris en la médula espinal.

D. La capacidad de conducción, presente solo en la sustancia gris.

3. Ante una situación de estrés agudo se produce dilatación pupilar, aumento de la frecuencia cardíaca y broncodilatación. Estas respuestas corresponden a:

A. La división parasimpática del sistema nervioso autónomo.

B. La división simpática del sistema nervioso autónomo.

C. El componente somático del sistema nervioso periférico.

D. Un acto reflejo medular sin participación autónoma.

4. La velocidad de conducción del impulso nervioso a lo largo de una fibra depende de manera decisiva de:

A. El diámetro del cuerpo neuronal.

B. El volumen de líquido cefalorraquídeo circundante.

C. La presencia de mielina en la fibra.

D. El número de meninges que envuelven el nervio.

5. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre las células gliales es correcta?

A. Sustituyen a las neuronas en la transmisión del impulso nervioso.

B. Se localizan únicamente en el sistema nervioso periférico.

C. Constituyen por sí solas la totalidad de la sustancia blanca.

D. Cumplen funciones de sostén, nutrición y protección del tejido nervioso.

Preguntas abiertas y de aplicación

6. Explique cómo se organiza el sistema nervioso en sus divisiones central y periférica, y describa la relación bidireccional que mantienen a través de las fibras aferentes y eferentes.

7. Compare las divisiones simpática y parasimpática del sistema nervioso autónomo atendiendo a las situaciones en que predomina

cada una y a los efectos que producen sobre las funciones viscerales.

8. Describa las tres meninges y los espacios que delimitan, indique el contenido de cada espacio y explique de qué modo protegen al sistema nervioso central.

9. Relacione la composición bioquímica del tejido nervioso con la transmisión sináptica y explique en qué punto de ese proceso pueden intervenir los fármacos neuroactivos descritos en el capítulo.

Reflexión e integración

10. Analice por qué la barrera hematoencefálica constituye a la vez una protección para el encéfalo y un obstáculo para el desarrollo de medicamentos, y qué implicaciones tiene ese doble carácter para el profesional farmacéutico.

11. Justifique por qué el sistema nervioso autónomo recibe el calificativo de involuntario y argumente si esa denominación describe con exactitud su funcionamiento, considerando su papel en el mantenimiento de la homeostasis.

12. Integre estructura y función explicando de qué modo la disposición de la sustancia gris y la sustancia blanca en el encéfalo y en la médula espinal se corresponde con las tareas que cada una desempeña.

CAPÍTULO III

3. SISTEMA ENDOCRINO

3.1 Anatomía del sistema endocrino

El sistema endocrino constituye un conjunto altamente especializado de glándulas y tejidos cuya función principal es la producción y secreción de hormonas, mensajeros químicos que se liberan directamente al torrente sanguíneo para regular y coordinar múltiples procesos fisiológicos esenciales para la homeostasis del organismo, como el crecimiento, el metabolismo, la reproducción y la respuesta al estrés (Navarro, 2023). A diferencia del sistema nervioso, su acción es generalmente más lenta, pero sostenida y de amplio alcance, permitiendo una regulación fina y prolongada de las funciones corporales.

Este capítulo aborda la anatomía y organización de las principales glándulas endocrinas, incluyendo el hipotálamo y la hipófisis como ejes centrales de integración neuroendocrina, así como la tiroides, paratiroides, glándulas suprarrenales, páncreas endocrino y gónadas. Se analizan sus características anatómicas, relaciones estructurales, vascularización y funciones hormonales específicas, destacando la estrecha interdependencia entre el sistema endocrino y el sistema nervioso central (México, s.f.; DrTango, 2023). El estudio integral de estas estructuras resulta fundamental para comprender los mecanismos de regulación fisiológica y las bases anatómicas de diversas alteraciones endocrinas.

El sistema endocrino es un conjunto de glándulas cuya función especial es la producción y secreción de sustancias llamadas hormonas que entran

directamente en la circulación o corriente sanguínea. A continuación, se enumeran las principales glándulas y órganos endocrinos (Figura 25) (Navarro, 2023).

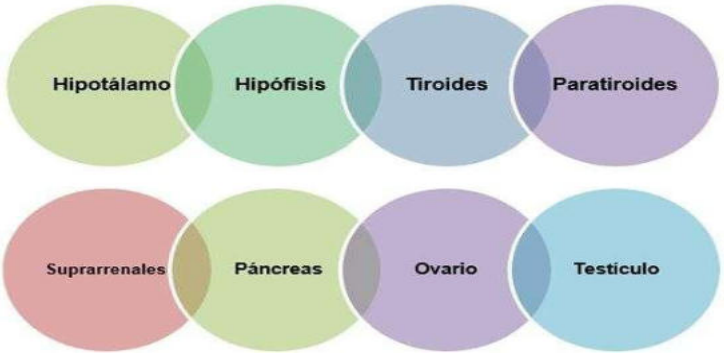


Figura 25. Partes del sistema endocrino.

Fuente: México (s. f.).

3.1.1 Hipotálamo

Es una glándula endocrina conectada a la base del cráneo por el infundíbulo. Mide de 12 a 15 mm transversal, 8mm de atrás hacia delante y 6mm manera vertical. Pesa 55 gr. Se sitúa detrás del quiasma óptico, debajo del diencéfalo y del piso del tercer ventrículo, alojándose en la fosa hipofisaria de la silla turca (Figura 26) (México, s.f.).

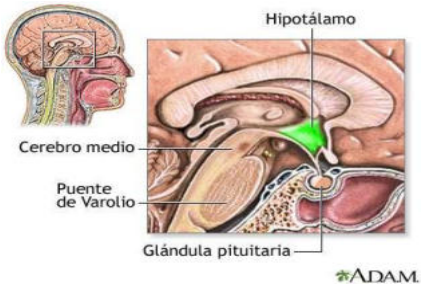


Figura 26. Hipotálamo.

Fuente: DrTango (2023).

El hipotálamo posee relaciones anatómicas con varias partes importantes del sistema nervioso central:

Anteriormente está delimitado por la comisura anterior y por la lámina terminal.

Posteriormente se encuentra la sustancia perforada posterior, el pedúnculo cerebral y el acueducto mesencefálico (de Silvio).

Superiormente se encuentra el surco hipotalámico, el tálamo y el plexo coroideo del tercer ventrículo.

Inferiormente encontramos al tallo hipofisario como una prolongación del infundíbulo y la hipófisis.

3.1.2 Divisiones del hipotálamo

El fórnix atraviesa toda la extensión del hipotálamo de cada lado hasta llegar al tubérculo mamilar, dividiendo esta estructura en dos zonas: medial y lateral. La zona medial del hipotálamo se ubica entre el fórnix y las paredes del tercer ventrículo y contiene la mayor parte de los núcleos de la sustancia gris. Por otro lado, en la zona lateral predominan los haces de fibras nerviosas (sustancia blanca).

3.1.3 Núcleos del hipotálamo

3.1.3.1 Núcleo paraventricular

Este núcleo desempeña un papel primordial en el control del estrés, metabolismo, crecimiento, reproducción, inmunidad, entre otros. Junto con el núcleo supraóptico produce las hormonas vasopresina y oxitocina. Se ubica anterior y medial al fórnix y posterior e inferior a la comisura anterior.

3.1.3.2 El núcleo supraóptico

Es conocido por producir las hormonas vasopresina y oxitocina. La vasopresina, también llamada hormona antidiurética (ADH) mantiene el equilibrio osmótico e hídrico del organismo al regular la reabsorción de agua libre por el túbulo colector del túbulo renal.

La oxitocina es más conocida por su papel en la lactancia y en las contracciones uterinas durante el trabajo de parto. El núcleo supraóptico se encuentra posterior a la lámina terminal, y anteroinferior a los núcleos dorsomedial y ventromedial.

3.1.3.3 Núcleo infundibular (o arcuato)

Este integra varios procesos neuroendocrinos a través de las neuronas que controlan la secreción hormonal de la hipófisis anterior (adenohipófisis). Además, el núcleo infundibular es un reconocido regulador del metabolismo energético, integrando las señales del hambre y la saciedad. Este se ubica a lo largo de la parte proximal del túber cinereum.

3.1.3.4 Núcleos dorsomedial, ventromedial y posterior

Los núcleos dorsomedial y ventromedial se encuentran en la región mediana del hipotálamo, siendo el núcleo dorsomedial superior al núcleo ventromedial. El núcleo posterior está inmediatamente superior a los núcleos mamilares que se encuentran en el complejo mamilar. Adicionalmente, el núcleo posterior se ubica entre las fibras del fórnix anteriormente y el tracto mamilotalámico, posteriormente.

Vascularización

El hipotálamo es irrigado por ramas anteriores y posteriores del círculo arterial cerebral (polígono de Willis) y por las ramas hipotalámicas de la arteria hipofisaria superior. La sangre venosa es drenada hacia el seno cavernoso, que drena luego en los senos petrosos superior e inferior. El seno petroso superior se une al seno transverso para formar el seno sigmoideo, que a su vez se une al seno petroso inferior para convertirse en la vena yugular interna.

3.1.4 Hipófisis (glándula pituitaria)

Es una estructura en forma de ovoide que se localiza en la silla turca del hueso esfenoides. La hipófisis está muy relacionada tanto anatómica como funcionalmente con el hipotálamo (*Figura 27)*

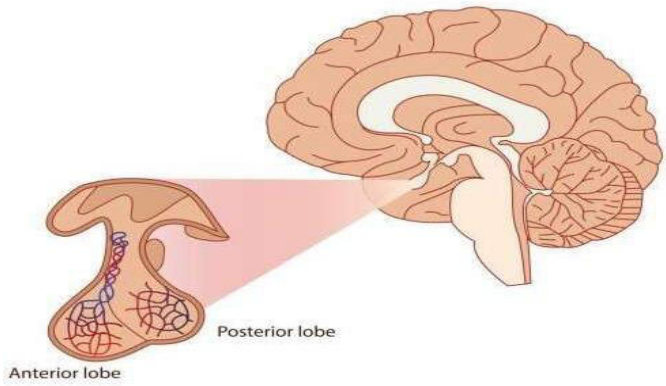


Figura 27. Glándula hipófisis.

Fuente: (Kavusta, s.f.).

La glándula pituitaria consta de dos lóbulos activos: anterior y posterior.

El lóbulo anterior de la hipófisis, también conocido como adenohipófisis, produce y secreta la mayoría de las hormonas hipofisarias. Su función está controlada por las hormonas liberadoras que secreta el hipotálamo.

El lóbulo posterior de la hipófisis (neurohipófisis) no produce ninguna hormona, sino que más bien libera dos hormonas que se producen inicialmente en los núcleos del hipotálamo.

La hipófisis se localiza en la fosa hipofisaria (silla turca) del hueso esfenoides. En su porción superior, está cubierta por el diafragma sellar de la duramadre. En su porción anteroinferior, se ubica frente al seno esfenoidal, en su porción anterosuperior frente al quiasma óptico y en su porción lateral frente al seno cavernoso.

La hipófisis está conectada al hipotálamo por el infundíbulo (tallo hipofisario), un proceso que se extiende de forma inferior desde el túber cinereum hasta el hipotálamo. El infundíbulo no solo conecta las dos glándulas físicamente, sino que también permite el paso de hormonas hipotalámicas hacia la hipófisis y es atravesado por el sistema porta hipofisario y por el tracto hipotálamo-hipofisario.

Tiene dos partes principales, la adenohipófisis (lóbulo anterior) y la neurohipófisis (lóbulo posterior). Estas partes difieren en su origen embrionario, por lo que tienen una apariencia histológica y funciones distintas.

3.1.5 Glándula tiroides

Es una glándula impar, localizada en el tercio medio inferior de cuello, en una situación adelante, a ambos lados de la tráquea y la laringe (*Figura 28).* Se constituye de dos lóbulos unidos por un istmo transversal, dándole una forma de H. Cada lóbulo derecho e izquierdo tiene una porción inferior más gruesa que la superior, distinguiéndose las siguientes estructuras (México, s.f.).

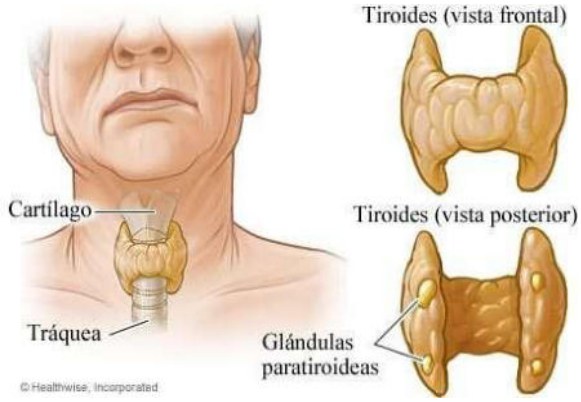


Figura 28. Glándula tiroides.

Fuente: (El personal de Ignite Healthwise, s.f.).

Caras: Anterolateral, convexa, superficial recubierta de músculo. Posteromedial cóncava, adosada a la laringe y tráquea y en una porción baja con la faringe y esófago. Posterior, orientada hacia atrás.

Polos: inferior o base, convexo en orientación abajo y medialmente, hasta la altura del 6 anillo traqueal. Superior o vértice, orientado hacia arriba y atrás hacia el cartílago tiroides.

Bordes: Anteromedial orientado hacia abajo, adelante y medial. Posteriores medial y lateral, de forma redonda.

La glándula tiroides posee forma de mariposa, vascular, de coloración roja amarronada; es una glándula endocrina localizada en el centro de la región cervical anterior. En circunstancias normales, se extiende desde la quinta vértebra cervical (C5) hasta la primera vértebra torácica (T1). En promedio, la glándula pesa entre 15 y 25 gramos, siendo así la glándula endocrina más grande (*Figura 29).*

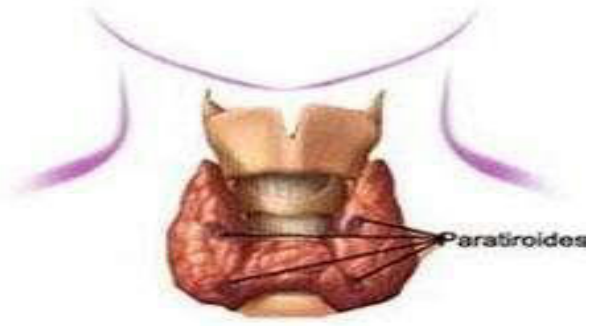


Figura 29. Estructura de la Glándula Tiroides.

Fuente: (México, s.f.).

El istmo que se encarga de conjuntar ambos lóbulos cuenta con una cara anterior convexa, una cara posterior cóncava que se adosa a los primeros cartílagos traqueales. Su borde inferior es cóncavo mientras que el superior de igual convexidad se acerca al cartílago cricoides.

La glándula tiroides tiene una vascularidad e inervación abundante. Cuenta con cuatro arterias, dos a ambos lados. La tiroidea superior, rama de la carótida externa, irrigando a través de ramas colaterales como la infrahioidea, esternocleidomastoidea, laríngea superior y cricotiroidea. La tiroidea inferior rama de la arteria subclavia, constituida por tres segmentos, vertical, trasversal y terminal.

En los espacios interlobulares de la glándula se forman venas subcapsulares que drenan a cuatro sistemas venosos: vena tiroidea superior, vena tiroidea media, vena tiroidea inferior y el plexo tiroideo impar. La inervación tiene un origen simpático en el ganglio cervical superior, tronco cervical y nervios cardiacos, o de origen vagal por el nervio laríngeo superior o el laríngeo recurrente. Se distingue con ello

una raíz superior e inferior con integración de fibras simpáticas y parasimpáticas.

3.1.6 Paratiroides

Son dos pares de glándulas bilaterales anexas a la glándula tiroides, se sitúan en la cara posteromedial de los lóbulos tiroideos, laterales a la cápsula fibrosa de la glándula tiroides y mediales a la vaina paratiroidea. Se distribuyen en una superior y otra inferior en cada lóbulo, las superiores son más grandes de forma de lenteja, mientras que las inferiores son pequeñas y ovoideas. Su color es castaño agamuzado, aunque suelen confundirse con el resto del tejido tiroideo. Su vascularidad está dada por una rama arterial procedente de la arteria tiroidea superior para la paratiroidea superior, y una rama de la tiroidea inferior para la paratiroidea inferior. El sistema venoso drena hacia las venas tiroideas correspondientes y comparten la misma inervación que la glándula tiroides por los nervios adyacentes (*Figura 30*) (*Figura 31*) (México, s.f.).

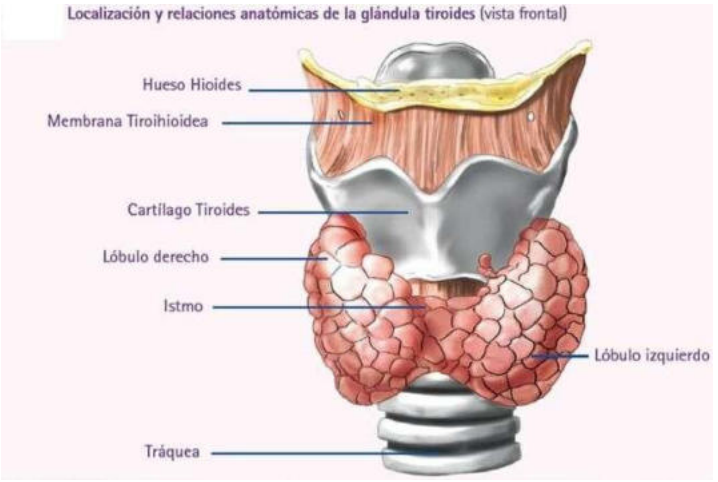


Figura 30. Glándula Paratiroides.

Fuente: (TEKNON, s.f.).

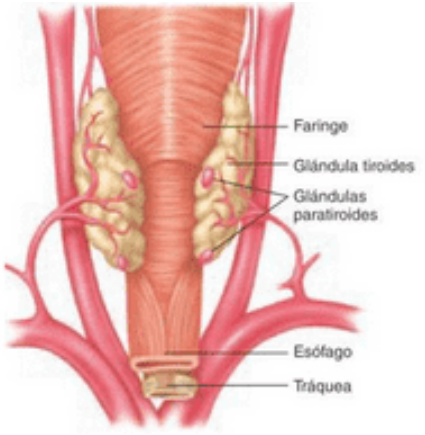


Figura 31. Vista posterior de las glándulas paratiroides.

Fuente: (México, s.f.).

3.1.7 Glándulas suprarrenales

Cada glándula suprarrenal ocupa el polo superior del riñón correspondiente y queda contenida dentro de la fascia renal, que en su

porción superior la vincula con los pilares del diafragma. Ambas glándulas no son simétricas: la derecha adopta un contorno piramidal, de ángulos más marcados por el espacio reducido que le deja el hígado, y se apoya directamente sobre el polo superior del riñón derecho; la izquierda, en cambio, es semilunar y se dispone de forma más medial, en relación con el hilio renal *(Figura 32*) **(Torres, 2023)**.

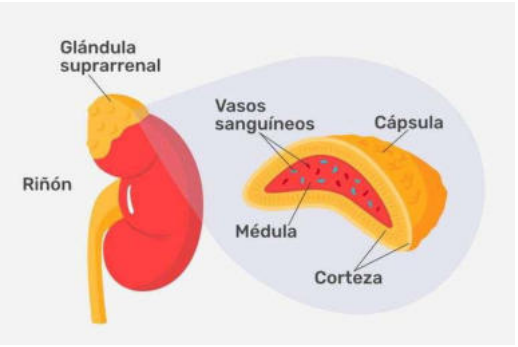


Figura 32. Estructura de la glándula suprarrenal.

Fuente: (Grossi, 2024).

Su configuración interna está dada por:

Cápsula: rodeando a la glándula con irradiación de tabiques hacia el interior.

Tejido propio conformado por una corteza y una médula:

Corteza suprarrenal: Formada por cordones epiteliales hacia la periferia, tiene una porción periférica donde están los glomérulos, una media fasciculada y una profunda reticulada.

Médula: Parecida en estructura a un para ganglio, se conforma de trabéculas epiteliales rodeada de sinusoides sanguíneos. Contiene

células cromatofines y neuronas simpáticas aisladas en forma de ganglios.

3.1.8 Páncreas endocrino

El páncreas es un órgano especial porque tiene funciones tanto exocrinas como endocrinas.

El páncreas actúa como órgano accesorio del sistema digestivo: su componente exocrino vierte al duodeno enzimas que intervienen en la digestión. Por otro lado, el páncreas produce hormonas que regulan los niveles de insulina y glucagón

El páncreas es un órgano alargado (aproximadamente de 15 cm) situado oblicuamente en la pared abdominal posterior, a nivel de los cuerpos vertebrales de L1 y L2 *(Figura 33)* (Guzmán, 2023).

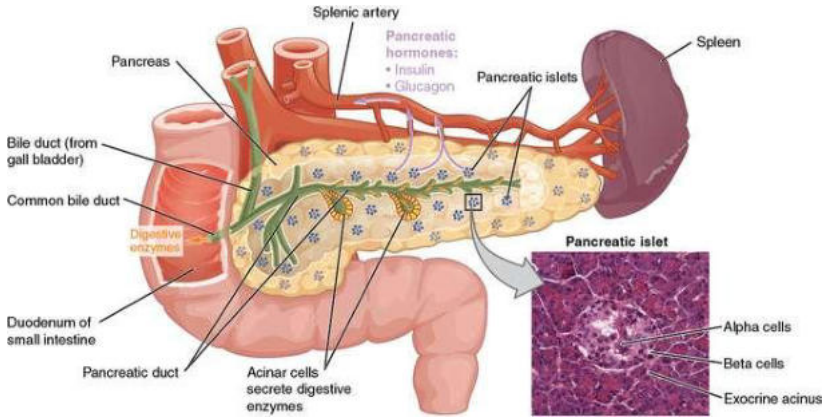


Figura 33. Páncreas e islotes pancreáticos.

Fuente: Stanley (2024).

Se integra de tres porciones:

Cabeza: Orientada hacia adelante y derecha, enmarcada en el duodeno, a través de una excavación en su borde superior donde se adosa el duodeno.

Cuello: O istmo, une la cabeza con el cuerpo del páncreas tiene una longitud de 2 cm.

Cuerpo: Se aparta de la cabeza en una dirección hacia la izquierda y arriba tiene una forma de prisma con tres caras.

Cola: Orientada hacia la izquierda del resto de la glándula se afina para formar una lámina en dirección del hilio del bazo.

El páncreas se constituye en dos tipos de tejido:

Acinos glandulares para la secreción externa donde cada acino tiene un conducto excretor para el jugo pancreático.

Islotes pancráticos o de Langerhans, entre cada acino, ricamente vascularizados para poder verter su producción hormonal.

Cuenta con dos conductos principales:

Conducto pancreático de Wirsung: Se origina en la cola del páncreas y recorre la glándula hacia la cabeza en el centro del órgano, donde se une al colédoco cerca de la pared duodenal formando la ampolla hepatopancreatica, en su trayecto se conecta con cada acino para recibir su secreción.

Conducto pancreático de Santorini o accesorio: Se separa del conducto pancreático a nivel de la cabeza del páncreas, se dirige hacia la pared posteromedial del duodeno a 2 o 3 cm del conducto pancreático.

3.1.9 Gónadas

3.1.9.1 Ovario

Los ovarios son glándulas pareadas, intraperitoneales, situadas en la fosa ovárica a ambos lados del útero, y secretan estradiol, progesterona e inhibina. Durante el desarrollo folicular, las células de la granulosa producen estradiol y, en menor proporción, estriol y estrona. Hacia la mitad del ciclo menstrual, tras la rotura del folículo, el tejido remanente origina el cuerpo lúteo, responsable de la secreción de progesterona. Ambas hormonas contribuyen al desarrollo del aparato reproductor femenino, promueven el crecimiento óseo en el adolescente, regulan el ciclo menstrual, apoyan el embarazo y preparan la glándula mamaria para la lactancia. La hormona inhibinas secretada en folículo y cuerpo lúteo, inhibe la retroalimentación negativa de la adenohipófisis (*Figura 34*) **(Serrano, 2023)**.

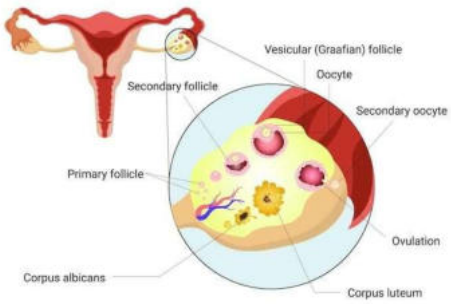


Figura 34. Estructura del ovario.

Fuente: Serrano (2023).

3.1.9.2 Testículo

Los testículos son las gónadas masculinas y se alojan en el escroto. Tienen forma ovoide y miden entre 4 y 6 cm de longitud. Su desarrollo

es retroperitoneal, en la pared abdominal posterior, y descienden hasta el escroto antes del nacimiento. Luego de haber descendido, los testículos permanecen conectados al abdomen por medio de los cordones espermáticos, y adheridos al escroto por el ligamento escrotal.

Su actividad endocrina comprende la secreción de testosterona, de cantidades menores de otros andrógenos y de inhibina. La testosterona interviene en el desarrollo del aparato reproductor masculino y en los cambios físicos de la adolescencia, y participa en la espermatogénesis y en el impulso sexual; la inhibina, por su parte, modula la velocidad de producción de espermatozoides (*Figura 35*) **(Azucas, 2023)**.

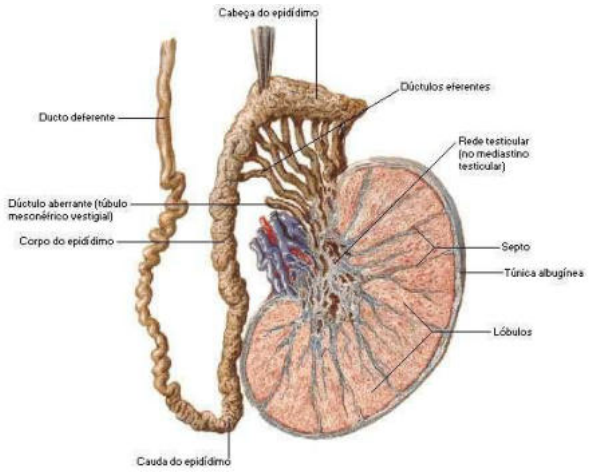


Figura 35. Anatomía del Testículo.

Fuente: Netter, (2000).

3.2 Fisiología y regulación del sistema endocrino

El sistema endocrino constituye uno de los principales mecanismos de regulación y coordinación del organismo humano, garantizando la integración funcional entre órganos y sistemas mediante la acción de mensajeros químicos denominados hormonas. Estas sustancias,

sintetizadas y secretadas por glándulas especializadas y por diversos tejidos con función endocrina, son liberadas al torrente sanguíneo y transportadas hacia células blanco específicas, donde desencadenan respuestas fisiológicas esenciales para el mantenimiento de la homeostasis (NCBI, 2024).

A diferencia del sistema nervioso, cuya acción es rápida y de corta duración, la regulación endocrina se caracteriza por respuestas más lentas, pero sostenidas en el tiempo, lo que permite controlar procesos que requieren estabilidad y ajuste prolongado, como el metabolismo energético, el crecimiento y desarrollo, el equilibrio hidroelectrolítico, la respuesta al estrés, la regulación del ciclo sueño-vigilia y la función reproductiva. La estrecha interacción entre ambos sistemas conforma el eje neuroendocrino, fundamental para la adaptación del organismo a las variaciones del medio interno y externo (NCBI, 2024).

En este capítulo se analizan las funciones generales del sistema endocrino, las principales glándulas que lo integran y las hormonas que producen, considerando su estructura química, mecanismos de acción y sistemas de regulación basados en procesos de retroalimentación. Este abordaje integral permite comprender la compleja red de control hormonal que sustenta el equilibrio fisiológico del cuerpo humano

El sistema endocrino constituye uno de los principales mecanismos de regulación interna del organismo humano. A través de una compleja red de glándulas especializadas, distribuidas en distintos puntos del cuerpo, este sistema se encarga de la producción y liberación de hormonas sustancias químicas que actúan como mensajeros directamente al torrente sanguíneo. Estas hormonas viajan por la sangre hasta alcanzar

tejidos y órganos específicos, donde desencadenan respuestas fisiológicas que permiten al cuerpo mantener un funcionamiento equilibrado y adaptativo (Lecturio, 2024) (*Figura 36)*.

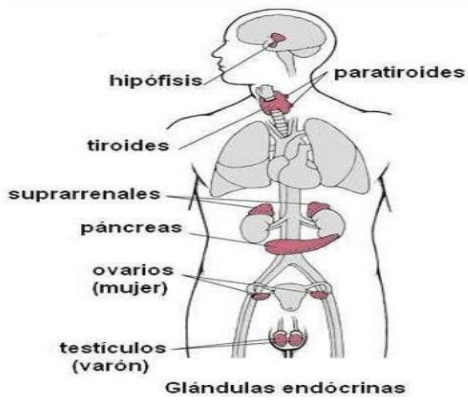


Figura 36. Partes del sistema endocrino.

Fuente: (Wikimedia, s.f.).

Las funciones que regula el sistema endocrino son amplias y esenciales. Entre ellas se encuentran el control del metabolismo energético, el crecimiento y desarrollo corporal, la regulación del equilibrio hídrico y electrolítico, las respuestas al estrés, el ciclo sueño-vigilia y las funciones reproductivas. Esta red endocrina no opera de forma aislada: su estrecha interacción con el sistema nervioso forma un eje neuroendocrino que resulta clave para mantener la homeostasis, es decir, la estabilidad del medio interno del organismo frente a los cambios del entorno externo e interno (NCBI, 2024).

Este capítulo ofrece un recorrido detallado por las principales funciones del sistema endocrino, las glándulas que lo componen, los tipos de hormonas que produce, sus mecanismos de acción, así como los sistemas de control que regulan su actividad.

3.2.1 Funciones del sistema endocrino

El sistema endocrino cumple un papel crucial en la regulación y coordinación de múltiples procesos fisiológicos que ocurren en el cuerpo humano. A diferencia del sistema nervioso, cuyas respuestas suelen ser rápidas y de corta duración, las respuestas endocrinas son generalmente más lentas pero sostenidas, lo que las hace ideales para controlar funciones que requieren regulación continua o a largo plazo (Lecturio, 2024).

Entre las principales funciones del sistema endocrino se destacan las siguientes:

3.2.1.1 Regulación del metabolismo energético

Las hormonas endocrinas influyen en la velocidad con la que el cuerpo utiliza la energía contenida en los nutrientes, así como en la forma en que estos se almacenan o movilizan. Por ejemplo, la insulina y el glucagón, producidos por el páncreas, regulan los niveles de glucosa en sangre y su disponibilidad para las células (Endocrine Society, 2025)

3.2.1.2 Crecimiento y desarrollo

Desde la infancia hasta la adultez, el crecimiento corporal y la maduración de los tejidos están regulados por hormonas como la hormona del crecimiento (GH), la somatomedina C y las hormonas sexuales, que participan en la pubertad y el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios (Endocrine Society, 2025).

3.2.1.3 Equilibrio hidroelectrolítico

Las glándulas endocrinas también se encargan de mantener constantes los niveles de agua y electrolitos (como sodio, potasio y calcio) en el organismo. Hormonas como la aldosterona y la hormona antidiurética (ADH) son responsables de regular la reabsorción de agua y sales en los riñones (Tua Saúde, 2024).

3.2.1.4 Respuesta al estrés y regulación del sueño

Frente a situaciones de amenaza o demanda fisiológica, el sistema endocrino activa la secreción de hormonas como el cortisol y la adrenalina, que preparan al cuerpo para una respuesta rápida y eficaz. Además, hormonas como la melatonina regulan los ciclos de sueño y vigilia, ajustándose a los ritmos circadianos (Tua Saúde, 2024).

3.2.1.5 Control de la reproducción:

Las gónadas (ovarios y testículos) producen hormonas sexuales que regulan la función reproductiva, incluyendo la producción de gametos, el ciclo menstrual, la gestación y las características sexuales secundarias (Tua Saúde, 2024).

3.2.2 Glándulas endocrinas, hormonas, funciones y sus estructuras.

Tabla 1. Resumen del sistema endocrino: Hormonas, tejidos y estructuras.

Glándula/Tejido	Hormonas	Funciones principales	Estructura química
Hipotálamo	Hormona liberadora de tirotropina	Estimula la secreción de tirotropina y prolactina	Péptido

	Hormona liberadora de corticotropina	Induce la liberación de corticotropina	Péptido
	Hormona liberadora de la hormona del crecimiento	Induce la liberación de la hormona del crecimiento	Péptido
	Hormona inhibidora de la hormona del crecimiento (somatostatina)	Inhibe la liberación de la hormona del crecimiento	Péptido
	Hormona liberadora de gonadotropinas	Induce la liberación de LH y FSH	Péptido
	Factor inhibidor de prolactina o dopamina	Inhibe la liberación de prolactina	Amina
Adenohipófisis	Hormona del crecimiento	Estimula la síntesis de proteínas y el crecimiento general	Péptido
	Tirotropina (TSH)	Estimula la secreción de hormonas tiroideas	Péptido
	Corticotropina (ACTH)	Estimula la secreción de cortisol, andrógenos y aldosterona	Péptido
	Prolactina	Favorece el desarrollo de la mama y la secreción de leche	Péptido

	Hormona foliculoestimulante (FSH)	Estimula el crecimiento folicular y espermatogénesis	Péptido
	Hormona luteinizante (LH)	Estimula la ovulación y secreción de hormonas sexuales	Péptido
Neurohipófisis	Hormona antidiurética (vasopresina)	Incrementa la reabsorción de agua y la presión arterial	Péptido
	Oxitocina	Estimula la eyección de leche y las contracciones uterinas	Péptido
Tiroides	Tiroxina (T_4) y triyodotironina (T_3)	Incrementan el metabolismo celular	Amina
	Calcitonina	Favorece el depósito de calcio en huesos	Péptido
Corteza suprarrenal	Cortisol	Regula el metabolismo y tiene efectos antiinflamatorios	Esteroide
	Aldosterona	Incrementa la reabsorción de sodio y la secreción de potasio	Esteroide
Médula suprarrenal	Adrenalina y noradrenalina	Simulan la estimulación simpática	Amina

Páncreas	Insulina (células β)	Favorece la captación de glucosa	Péptido
	Glucagón (células α)	Estimula la liberación de glucosa	Péptido
Paratiroides	Hormona paratiroidea	Regula el calcio sérico y óseo	Péptido
Testículos	Testosterona	Desarrollo del aparato reproductor masculino	Esteroide
Ovarios	Estrógenos	Desarrollo de caracteres sexuales femeninos	Esteroide
	Progesterona	Prepara el útero y glándulas mamarias	Esteroide
Placenta	Gonadotropina coriónica humana	Mantiene el cuerpo lúteo en el embarazo	Péptido
	Somatomamotropina humana	Ayuda al desarrollo fetal y mamario	Péptido
	Estrógenos	Véase ovarios	Esteroide

	Progesterona	Véase ovarios	Esteroide
Riñón	Renina	Cataliza la conversión de angiotensinógeno	Péptido
	1,25-dihidroxicolecalcifer ol	Incrementa la absorción intestinal de calcio	Esteroide
	Eritropoyetina	Estimula la producción de eritrocitos	Péptido
Corazón	Péptido natriurético auricular	Excreción de sodio, reduce presión arterial	Péptido
Estómago	Gastrina	Estimula la secreción de ácido clorhídrico	Péptido
Intestino delgado	Secretina	Libera bicarbonato y agua en el páncreas	Péptido
	Colecistocinina	Contracción vesícula biliar y enzimas pancreáticas	Péptido
Adipocitos	Leptina	Inhibe el apetito, estimula termogénesis	Péptido

Nota. Síntesis didáctica de las principales glándulas y tejidos endocrinos, las hormonas que secretan, sus funciones fisiológicas

predominantes y su estructura química, elaborada a partir de los contenidos y fuentes citadas en el capítulo.

Mecanismos de acción hormonal

Las hormonas ejercen su efecto a través de mecanismos específicos que dependen tanto de su estructura química como de los receptores con los que interactúan en las células blanco. Estas interacciones desencadenan una cascada de eventos intracelulares que modifican la actividad celular (*Figura 37*).

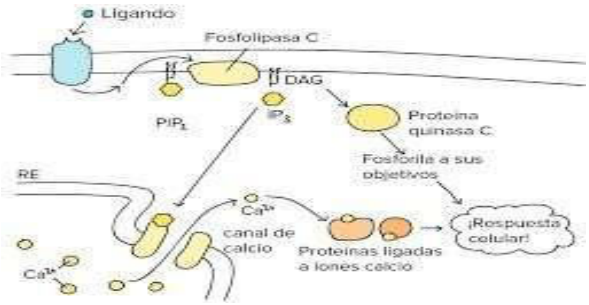


Figura 37. Mecanismos de acción hormonal.

Fuente:(Wikimedia, s.f.).

Se pueden clasificar las hormonas en tres grandes grupos:

Hormonas peptídicas: Estas hormonas están compuestas por cadenas de aminoácidos y no pueden atravesar la membrana celular. Por ello, actúan uniéndose a receptores situados en la superficie de la célula, lo que activa segundos mensajeros intracelulares. Ejemplos incluyen la insulina, el glucagón y la hormona del crecimiento.

Hormonas esteroides: Derivadas del colesterol, estas hormonas son liposolubles y, por lo tanto, pueden atravesar la membrana plasmática para unirse a receptores ubicados dentro del citoplasma o en el núcleo.

Esta unión puede modificar la expresión génica de la célula, afectando la síntesis de proteínas específicas. Ejemplos de estas hormonas incluyen los glucocorticoides, la aldosterona, los estrógenos y la testosterona.

Hormonas derivadas de aminoácidos: Estas incluyen a las hormonas tiroideas (T3 y T4) y las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina). Algunas de estas hormonas actúan a nivel intracelular, como las hormonas tiroideas, mientras que otras, como las catecolaminas, se unen a receptores en la superficie celular (*Figura 38).*

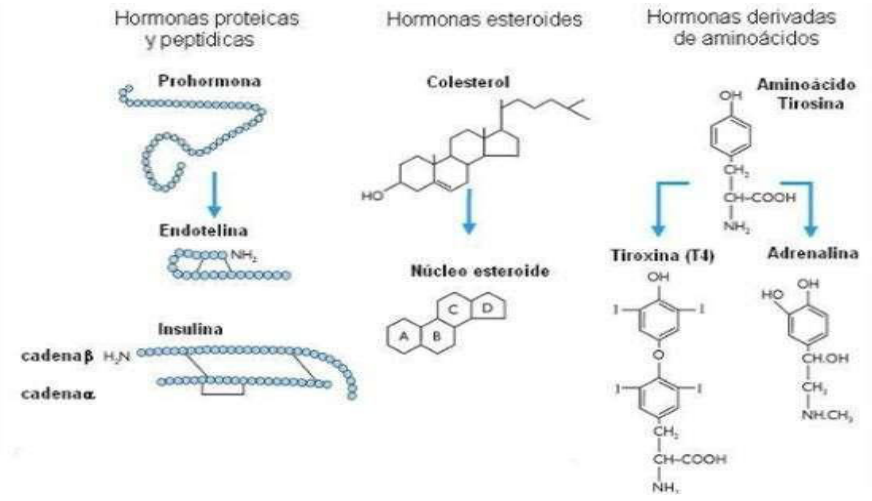


Figura 38. Hormonas derivadas de aminoácidos.

Fuente: (Wikimedia, s.f.).

3.2.3 Regulación del sistema endocrino

El funcionamiento del sistema endocrino está cuidadosamente regulado por mecanismos de retroalimentación o *feedback*, que pueden ser de naturaleza negativa o positiva (*Figura 39*).

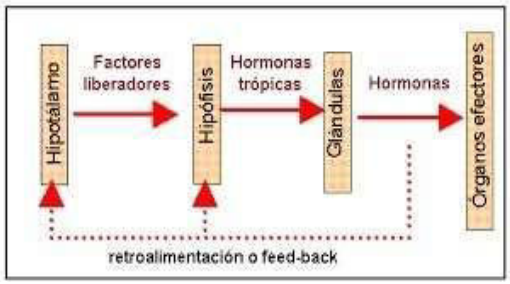


Figura 39. Regulación del sistema endocrino.

Fuente: (Wikimedia, s.f.).

Retroalimentación negativa: Es el mecanismo más común de regulación hormonal. Consiste en que una hormona o el efecto fisiológico que produce inhibe su propia producción, manteniendo así un equilibrio. Por ejemplo, un aumento en los niveles de cortisol en sangre inhibe la secreción de ACTH en la hipófisis y la de CRH en el hipotálamo, evitando una sobreproducción.

Retroalimentación positiva: En este caso, la respuesta fisiológica amplifica la producción de una hormona. Este mecanismo es menos frecuente y se observa en situaciones específicas, como el pico de liberación de la hormona luteinizante (LH) que desencadena la ovulación en el ciclo menstrual.

3.3 Aplicaciones clínicas

Caso clínico 1. Hipotiroidismo: trastorno de la glándula tiroides

Hipotiroidismo – Trastorno de la Glándula Tiroides

1. Contextualización y presentación clínica

Paciente: mujer de 45 años, residente en el área urbana.

Antecedentes personales:

Sobrepeso desde hace 10 años (IMC 29).
Madre hipertensa y con hipotiroidismo diagnosticado a los 50 años.
No fumadora. No consume bebidas alcohólicas.

Motivo de consulta: La paciente acude al centro de salud por presentar cansancio intenso, somnolencia, aumento de peso sin explicación (4 kg en 3 meses), sensación de frío, estreñimiento severo y caída de cabello. Refiere que se siente "mentalmente lenta" y ha tenido dificultades para concentrarse en su trabajo. Ha notado hinchazón en su rostro, voz más ronca y piel áspera.

2. Evaluación diagnóstica

Exploración anatómica relevante:

Localización anatómica: La glándula tiroides se sitúa en la parte anterior del cuello, delante de la tráquea, compuesta por dos lóbulos unidos por el istmo. Su irrigación depende de las arterias tiroideas superior e inferior. Anatómicamente cercana a estructuras como los nervios laríngeos recurrentes, relacionados con la voz. (Figura 40)

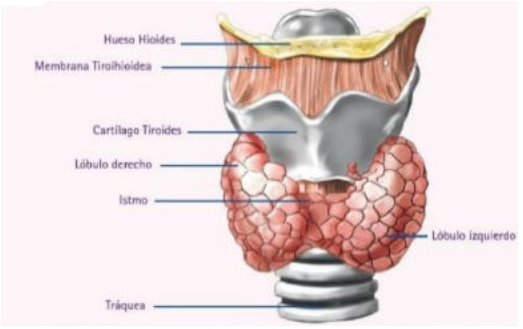


Figura 40. Glándula tiroides.

Fuente: Médica, (2016).

Función fisiológica: Produce T3 (triyodotironina) y T4 (tiroxina), hormonas reguladoras del metabolismo basal, frecuencia cardíaca, termogénesis, función digestiva, salud mental, crecimiento y desarrollo.
Fisiopatología: En la tiroiditis de Hashimoto, el sistema inmune ataca las células tiroideas provocando inflamación y destrucción glandular progresiva y la disminución en la producción de T3 y T4. La disminución de hormonas tiroideas aumenta la liberación de TSH por la hipófisis (mecanismo de retroalimentación). El hipotiroidismo provoca enlentecimiento generalizado de los procesos metabólicos: bradicardia, piel seca, constipación, fatiga y edema por acumulación de mucopolisacáridos.

Pruebas diagnósticas realizadas:

TSH sérica: 12,5 μUI/mL (elevada; rango normal: 0,4 – 4,5 μUI/mL).

T4 libre: 0,6 ng/dL (disminuida; normal: 0,9 – 1,7 ng/dL).

Anticuerpos anti-peroxidasa tiroidea (Anti-TPO): positivos → diagnóstico de tiroiditis de Hashimoto.

Ecografía tiroidea: Tiroides ligeramente agrandada, patrón ecogénico heterogéneo, compatible con inflamación crónica.

3. Abordaje terapéutico y farmacológico

Fármaco indicado: Levotiroxina sódica (T4 sintética)

Mecanismo de acción: Se convierte en T3 activa en tejidos periféricos, reemplazando la hormona endógena ausente. Restablece la regulación del metabolismo celular y la síntesis proteica.

Farmacocinética:

Absorción: 70-80% en intestino delgado, mayor en ayunas. Disminuye con ciertos alimentos (soya, fibra, café) o medicamentos.

Distribución: 99% unida a proteínas plasmáticas (TBG, transtiretina, albúmina).

Metabolismo: Conversión periférica a T3 en hígado, riñón y tejidos periféricos.

Eliminación: Vía renal y fecal. Vida media larga (~7 días).

Farmacodinamia: Incrementa consumo de oxígeno y basal energético, mejora funciones cardíaca, neurológica y metabólica.

Efectos adversos (sobredosificación): Taquicardia, ansiedad, insomnio, pérdida de peso excesiva, osteoporosis.

4. Consideraciones bioquímico-farmacéuticas

Interacciones medicamentosas:

Disminuyen absorción: suplementos de hierro, calcio, antiácidos con aluminio/magnesio, inhibidores de bomba de protones.

Inductores enzimáticos (rifampicina, fenitoína, carbamazepina) aumentan metabolismo lo que podría requerir ajuste de dosis.

Dosis y administración:

Inicio bajo (25-50 mcg/día), ajuste gradual cada 6-8 semanas basado en niveles de TSH.

- Tomar en ayunas, 30-60 minutos antes del desayuno.
- Evitar cambios de marca sin control médico, pues pueden variar biodisponibilidad.

Monitoreo:

TSH cada 6-8 semanas inicialmente, luego cada 6-12 meses.

Supervisar signos de hipertiroidismo (posible exceso de dosis).

Considerar control óseo en mujeres postmenopáusicas por riesgo de osteoporosis.

5. Rol del bioquímico farmacéutico

Rol del farmacéutico:

- Aconsejar sobre correcta toma de levotiroxina (ayuno, horarios).
- Detectar interacciones medicamentosas.
- Educar sobre síntomas de hipotiroidismo vs. hipertiroidismo.
- Favorecer adherencia al tratamiento crónico.

Consejos prácticos:

Explicar que la mejoría de síntomas es gradual (4-6 semanas).

Advertir sobre la importancia de no suspender el medicamento sin indicación médica.

6. Claves de aprendizaje

- La tiroides regula el metabolismo basal: su hipofunción explica que los síntomas sean sistémicos y no locales.
- El eje hipotálamo-hipófisis-tiroides funciona por retroalimentación negativa; por eso la TSH sube cuando caen T3 y T4, y por eso es el parámetro que guía el seguimiento.

- La levotiroxina exige condiciones estrictas de administración e interacciona con alimentos y fármacos: la educación al paciente forma parte del tratamiento.

Caso clínico 2. Síndrome de ovario poliquístico

Síndrome de Ovario Poliquístico (SOP)

1. Contextualización y presentación clínica

Paciente: mujer de 27 años, estudiante de Derecho en Machala.

Antecedentes personales:

- Ciclos menstruales irregulares desde los 16 años.
- Aumento progresivo de peso (IMC actual: 28).
- Historia familiar de diabetes tipo 2 (madre y abuela).
- No fuma ni consume alcohol.

Motivo de consulta: Refiere menstruaciones cada 45-60 días, aumento de vello facial (mentón, labio superior), acné persistente y caída de cabello en región frontal. Ha ganado 5 kg en seis meses y se siente "hinchada". Manifiesta preocupación estética y dificultad para bajar de peso a pesar de dieta y ejercicio.

2. Evaluación diagnóstica

Exploración anatómica relevante:

- **Localización anatómica:** Ovarios, órganos pares en la cavidad pélvica, producen óvulos y hormonas sexuales.
- Anatómicamente se sitúan cerca de trompas de Falopio y útero.

- **Fisiología normal:** Durante el ciclo menstrual, FSH estimula crecimiento folicular; LH induce ovulación y formación de cuerpo lúteo.

Fisiopatología en SOP:

- Exceso de andrógenos provoca hirsutismo, acné, alopecia androgenética.
- Muchos folículos pequeños permanecen inmaduros, anovulación y amenorrea o ciclos largos.
- Frecuentemente hay resistencia a insulina e hiperinsulinemia, que aumentan la producción ovárica de andrógenos.
- **Impacto sistémico:** Mayor riesgo de diabetes tipo 2, hipertensión, dislipidemia, infertilidad y complicaciones metabólicas.

Pruebas diagnósticas realizadas:

- Ecografía transvaginal: Ovarios con >12 folículos periféricos (diámetro 2-9 mm) patrón en “collar de perlas”.
- Perfil hormonal:
- LH elevada (razón LH/FSH > 2).
- Testosterona libre ligeramente elevada.
- Metabolismo: HOMA-IR elevado resulta resistencia a insulina.
- Criterios de Rotterdam cumplidos: SOP diagnosticado (al menos 2 de 3: hiperandrogenismo, ciclos irregulares, ovarios poliquísticos).

3. Abordaje terapéutico y farmacológico

Fármacos indicados:

- **Anticonceptivos orales combinados (ACO):** etinilestradiol + drospirenona o ciproterona.

- **Mecanismo de acción:** Inhiben FSH y LH → reducen andrógenos ováricos → mejora síntomas androgénicos y regula ciclo menstrual.

Farmacocinética: Buena absorción oral, metabolismo hepático, excreción urinaria y fecal.

Farmacodinamia: Suprime foliculogénesis excesiva, disminuye producción de sebo y crecimiento de vello.

- **Metformina:** En casos de resistencia a insulina.
- **Mecanismo de acción:** Reduce gluconeogénesis hepática y mejora captación periférica de glucosa.
- **Farmacocinética:** Absorción incompleta, no se metaboliza, eliminación renal.
- **Farmacodinamia:** Mejora regularidad menstrual y facilita pérdida de peso.

Efectos adversos:

ACO: náuseas, cefalea, aumento riesgo trombótico.

Metformina: molestias gastrointestinales (náuseas, diarrea), sabor metálico.

4. Consideraciones bioquímico-farmacéuticas

Interacciones medicamentosas:

ACO reducen eficacia con inductores enzimáticos (rifampicina, carbamazepina).

Metformina debe suspenderse temporalmente si se administra contraste yodado riesgo de acidosis láctica.

Dosis y administración:

ACO: 1 comprimido diario, misma hora, 21 días + 7 días libres.

Metformina: iniciar 500 mg/día, subir lentamente para tolerancia gastrointestinal.

Monitoreo:

ACO: control de tensión arterial, perfil lipídico.

Metformina: función renal anual.

Glucosa y HbA1c en pacientes con resistencia a insulina.

5. Rol del bioquímico farmacéutico

Rol del farmacéutico:

Educar sobre la adherencia a ACO para evitar embarazo no deseado.

Identificar signos de trombosis venosa profunda (dolor, edema).

Informar sobre cambios de estilo de vida: alimentación equilibrada, ejercicio regular.

Consejos prácticos:

Explicar que las mejoras estéticas (vello, acné) requieren 3-6 meses.

Recomendar tomar metformina con alimentos para minimizar molestias digestivas.

6. Claves de aprendizaje

- El síndrome de ovario poliquístico integra alteración endocrina, metabólica y reproductiva: no se entiende desde una sola glándula.
- La resistencia a la insulina y la hiperinsulinemia enlazan el componente metabólico con el hiperandrogenismo ovárico.
- El perfil hormonal solo se interpreta correctamente conociendo la regulación normal del eje: una razón LH/FSH alterada carece de sentido aislada del contexto clínico.

3.4 Resumen

El sistema endocrino está conformado por un conjunto de glándulas y órganos especializados en la producción y secreción de hormonas que regulan funciones esenciales del organismo mediante su liberación directa al torrente sanguíneo. Entre sus principales componentes se encuentran el hipotálamo y la hipófisis, que actúan como centros de integración neuroendocrina al coordinar la actividad hormonal del resto de las glándulas endocrinas.

El capítulo describe la anatomía, localización, relaciones estructurales y funciones del hipotálamo, destacando la organización de sus núcleos y su papel en la regulación del metabolismo, el equilibrio hídrico, la respuesta al estrés y la reproducción. Asimismo, se aborda la hipófisis, enfatizando su división en adenohipófisis y neurohipófisis, así como su estrecha conexión funcional con el hipotálamo a través del sistema porta hipofisario.

Se analizan además las glándulas periféricas, incluyendo la tiroides y paratiroides, responsables del control del metabolismo y del equilibrio

del calcio; las glándulas suprarrenales, involucradas en la respuesta al estrés y la regulación hidroelectrolítica; el páncreas endocrino, fundamental en el control de la glucemia; y las gónadas, encargadas de la producción de hormonas sexuales y la regulación de la función reproductiva. En conjunto, el contenido del capítulo permite comprender la organización anatómica y funcional del sistema endocrino y su importancia en el mantenimiento de la homeostasis corporal.

El sistema endocrino es un sistema de regulación interna que coordina múltiples funciones del organismo mediante la secreción de hormonas al torrente sanguíneo. Estas sustancias químicas actúan sobre células blanco específicas y permiten mantener la homeostasis a través de respuestas más lentas pero sostenidas en comparación con el sistema nervioso.

Entre sus principales funciones se encuentran la regulación del metabolismo energético, el crecimiento y desarrollo, el equilibrio hidroelectrolítico, la respuesta al estrés, el control del sueño y la reproducción. Está conformado por diversas glándulas y tejidos endocrinos, como el hipotálamo, la hipófisis, la tiroides, las suprarrenales, el páncreas y las gónadas, entre otros, que producen hormonas de naturaleza peptídica, esteroidea o derivada de aminoácidos.

El capítulo también aborda los mecanismos de acción hormonal —ya sea mediante receptores de membrana o intracelulares— y los sistemas de regulación basados principalmente en retroalimentación negativa, esenciales para mantener el equilibrio fisiológico del organismo.

3.5 Preguntas de repaso

Opción múltiple

1. Las hormonas liposolubles y las hidrosolubles se diferencian fundamentalmente en:

A. La localización del receptor sobre el que ejercen su acción.

B. La glándula endocrina que las produce.

C. La velocidad con que el hígado las degrada.

D. Su capacidad de circular por el torrente sanguíneo.

2. Una lesión que interrumpiera el sistema porta hipofisario tendría como consecuencia más probable:

A. La liberación inmediata y masiva de catecolaminas por la médula suprarrenal.

B. La pérdida de la secreción de la adenohipófisis por falta de las señales hipotalámicas reguladoras.

C. Un aumento sostenido de la secreción de vasopresina por la neurohipófisis.

D. Ningún efecto, porque la hipófisis funciona de manera autónoma.

3. La corteza y la médula suprarrenal se diferencian en que:

A. Únicamente la médula produce hormonas de naturaleza esteroidea.

B. Ambas derivan del mismo tejido y secretan aldosterona.

C. La corteza secreta hormonas esteroideas y la médula, catecolaminas.

D. La corteza interviene solo en la respuesta al estrés agudo.

4. La hipófisis recibe el nombre de glándula maestra porque:

A. Es la glándula endocrina de mayor tamaño del organismo.

B. Produce por sí sola todas las hormonas del organismo.

C. Actúa con independencia del control hipotalámico.

D. Regula la actividad secretora de otras glándulas endocrinas.

5. En un eje endocrino gobernado por retroalimentación negativa, el aumento sostenido de la hormona periférica produce:

A. Una disminución de la hormona estimulante hipofisaria.

B. Un incremento paralelo de la hormona estimulante hipofisaria.

C. Ninguna variación en el resto del eje.

D. La destrucción progresiva de la glándula diana.

Preguntas abiertas y de aplicación

6. Explique la organización del eje hipotálamo-hipófisis y describa de qué modo integra la señal nerviosa con la respuesta hormonal.

7. Compare el sistema nervioso y el endocrino como sistemas de regulación, atendiendo a la velocidad, la duración y el alcance de sus respuestas.

8. Describa la función endocrina del páncreas y explique cómo la insulina y el glucagón mantienen la glucemia dentro de límites estrechos.

9. Relacione la localización anatómica de la tiroides y las paratiroides con sus funciones metabólicas, y explique por qué su proximidad tiene relevancia clínica.

Reflexión e integración

10. Argumente por qué el conocimiento de los mecanismos de retroalimentación resulta indispensable para interpretar un perfil hormonal de laboratorio, e ilustre su respuesta con un eje descrito en el capítulo.

11. Analice, desde la perspectiva del bioquímico farmacéutico, de qué modo la solubilidad de una hormona condiciona su transporte, su mecanismo de acción y el diseño de un análogo con finalidad terapéutica.

12. Integre estructura y función explicando cómo la división de la hipófisis en adenohipófisis y neurohipófisis se corresponde con dos formas distintas de conexión con el hipotálamo.

CAPÍTULO IV

4. SISTEMA CARDIOVASCULAR

4.1 Anatomía del corazón

El corazón constituye el órgano central del sistema cardiovascular y desempeña una función esencial en el mantenimiento de la homeostasis del organismo. A través de su actividad rítmica y continua, impulsa la sangre por los circuitos pulmonar y sistémico, garantizando el suministro de oxígeno y nutrientes a los tejidos, así como la eliminación de dióxido de carbono y productos metabólicos de desecho. Este proceso dinámico permite la adecuada perfusión celular y el sostenimiento de las funciones vitales.

Desde el punto de vista clínico y epidemiológico, la relevancia del corazón trasciende su función anatómica y fisiológica. Las alteraciones en el flujo sanguíneo, ya sea por obstrucción coronaria, formación de trombos o hemorragias, pueden comprometer de manera crítica la función cardíaca y poner en riesgo la vida. De hecho, las enfermedades cardiovasculares representan la principal causa de mortalidad a nivel mundial, lo que subraya la necesidad de comprender en profundidad su estructura y funcionamiento (Maiposalud, 2018).

En este capítulo se aborda la importancia del corazón desde una perspectiva anatómica y morfológica, describiendo su localización en la cavidad torácica, su configuración externa e interna, así como la organización de sus cavidades, válvulas y grandes vasos. Asimismo, se analizan las particularidades estructurales de los lados derecho e izquierdo, fundamentales para entender la circulación pulmonar y sistémica. Este estudio constituye una base indispensable para la

interpretación fisiológica y patológica del sistema cardiovascular (Ballesteros, 2009).

4.1.1 Importancia del corazón

El corazón, motor principal del sistema circulatorio, impulsa la sangre a través de todo el cuerpo, distribuyendo los nutrientes esenciales mediante las arterias. En la circulación pulmonar, la sangre desoxigenada llega a los pulmones a través de las arterias pulmonares, donde se oxigena durante el intercambio gaseoso en los capilares pulmonares; posteriormente, retorna al corazón por las venas pulmonares. Este ciclo se repite continuamente gracias al bombeo constante del corazón. Por consiguiente, cualquier obstrucción del flujo sanguíneo por un coágulo, una hemorragia que comprometa la función cardíaca debido a la ruptura de una arteria, o el bloqueo de una arteria coronaria por acumulación de colesterol, puede generar complicaciones graves que pongan en riesgo la vida. La Organización Mundial de la Salud señala que las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de fallecimiento a nivel global (maiposalud, 2018)

4.1.1.1 Localización anatómica

El corazón se aloja en el tórax, en posición retroesternal y por delante del esófago, la aorta y la columna vertebral (Figura 41). A ambos lados de él están los pulmones. El corazón descansa sobre el diafragma, músculo que separa cavidades torácica y abdominal. Se encuentra dentro de una bolsa denominada pericardio. La bolsa pericárdica tiene dos hojas: una interna sobre la superficie cardíaca y otra externa que está fijada a los grandes vasos que salen del corazón. Entre ambas hojas existe una escasa cantidad de líquido para evitar su roce cuando late. La

superficie más externa del pericardio está fijada a las estructuras próximas mediante ligamentos. Así, está unido por éstos al diafragma, la columna vertebral y la pleura de ambos pulmones (Ballesteros, 2009)

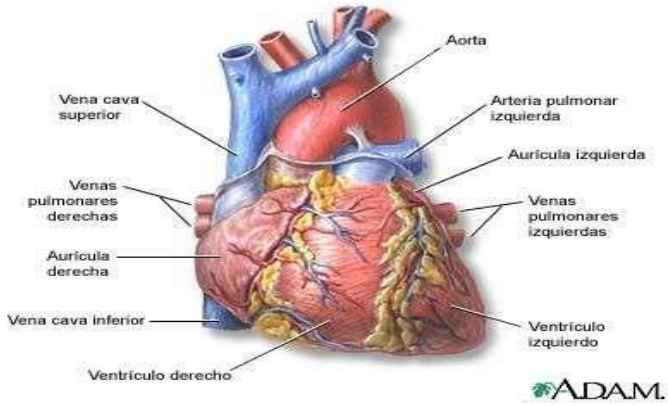


Figura 41. Anatomía del corazón.

Fuente: Ballesteros (2009).

4.1.2 Morfología externa

El corazón presenta la forma de un cono invertido cuyo vértice o ápex se orienta hacia la izquierda; en su base convergen tanto los vasos que conducen la sangre hacia el órgano como los que la expulsan. Los vasos encargados de llevar la sangre al corazón son las venas cavas superior e inferior y las venas pulmonares. Los vasos que se ocupan de sacarla son la arteria pulmonar y la aorta. Las venas cavas, que recogen la sangre venosa de todo el cuerpo, desembocan en la aurícula derecha, y las venas pulmonares, que llevan la sangre oxigenada desde los pulmones, terminan en la aurícula izquierda. También se observan dos estructuras: una a la derecha de la aorta y otra a la izquierda de la arteria pulmonar; se denominan orejuelas y forman parte de las aurículas. (Figura 42)

El corazón tiene una cara anterior, una posterior y dos bordes: derecho e izquierdo. En la superficie cardíaca se halla la grasa por la que avanzan las arterias y las venas que irrigan el corazón, es decir, las arterias coronarias, que llevan sangre al músculo cardíaco, y las venas coronarias, que la sacan (Ballesteros, 2009)

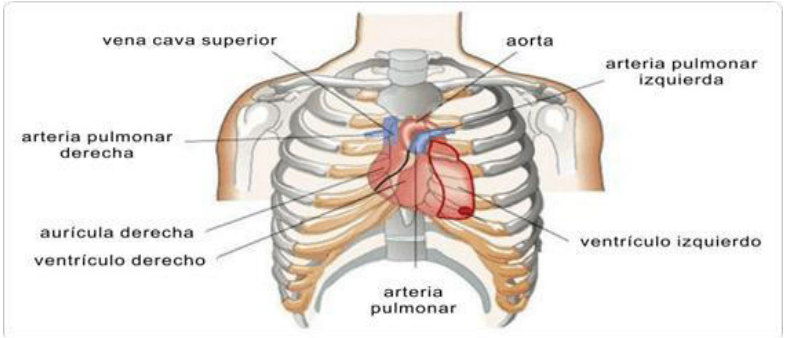


Figura 42. Partes de corazón.

Fuente: Ballesteros, (2009).

4.1.2.1 Peso tamaño del corazón aproximado

El peso del corazón varía según la edad, el tamaño y el propio peso de la persona. Así, se considera que el corazón pesa el 0,45% del peso corporal en el hombre, y el 0,40% del peso corporal en la mujer, de tal modo que en un adulto de estatura media el peso del corazón oscila entre 250-350 g en los hombres y entre 200-300 g en las mujeres. Cuando se trata de deportistas profesionales, habitualmente el corazón muestra un aumento fisiológico o natural de su peso.

4.1.3 Morfología interna

La parte interna del corazón está constituida por cuatro cavidades: dos en el lado derecho y dos en el izquierdo, de ahí que sea común hablar de corazón derecho y corazón izquierdo. Las cavidades situadas en la parte

superior se denominan aurículas, y las dispuestas en la parte inferior, ventrículos. En condiciones normales, las cavidades derechas no se comunican con las izquierdas, pues se hallan divididas por un tabique muscular, denominado tabique interauricular, que separa ambas aurículas; el tabique que distancia ambos ventrículos se llama interventricular. En el tabique interauricular se observa una zona delgada sin músculo, la fosa oval, que está formada por un orificio tapado con una lámina de tejido membranoso, a modo de telón, en el lado de la aurícula izquierda(Figura 43) En el feto no está cerrado y la sangre puede pasar de una aurícula a otra. Normalmente, después del nacimiento el tabique se pega y cierra la comunicación.

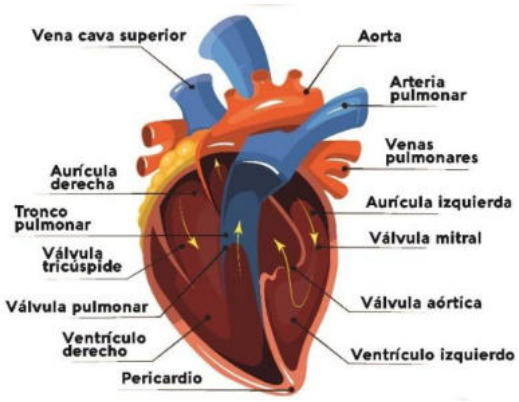


Figura 43. Anatomía Cardíaca.

Fuente: Fundación Española del Corazón, (2024).

4.1.3.1 Lado derecho del corazón (sangre desoxigenada- azul)

El corazón derecho consta de una aurícula en la parte superior y un ventrículo en la inferior. A la aurícula derecha llega la sangre venosa (no oxigenada) de todo el cuerpo a través de las venas cavas, que desembocan en ella. Ambas se encuentran en la pared posterior,

próximas al tabique: la superior, en la zona más alta, y la inferior, en la baja. También desemboca en la aurícula derecha el seno venoso, conducto que recoge la sangre venosa del corazón. En la cara anterior se ubica la orejuela derecha, de forma triangular. La aurícula se comunica con el ventrículo derecho a través de una válvula, la tricúspide. Esta válvula permite el paso de sangre de la aurícula al ventrículo, pero no en sentido contrario.

Cuando el corazón se contrae (sístole), la sangre sale del corazón a través de la válvula pulmonar, pasa a la arteria pulmonar y ésta la lleva a los pulmones para que se oxigene. Las válvulas tricúspide y pulmonar están separadas por una cresta muscular.

El ventrículo derecho tiene forma triangular y su superficie muestra músculos, denominados papilares, que sobresalen de ella y sirven de anclaje para la válvula tricúspide (Ballesteros, 2009)

Vena Cava Superior: Vaso sanguíneo grande que trae sangre desoxigenada desde la parte superior del cuerpo (cabeza, cuello, brazos) hacia la aurícula derecha.

Vena Cava Inferior: Vaso sanguíneo grande que transporta sangre desoxigenada desde la parte inferior del cuerpo (tronco, piernas) hacia la aurícula derecha.

Aurícula Derecha: Cámara superior derecha del corazón que recibe la sangre desoxigenada de la vena cava superior e inferior.

Válvula Tricúspide: Válvula que se encuentra entre la aurícula y el ventrículo derechos. Permite que la sangre fluya de la aurícula al ventrículo y evita el retroceso.

Ventrículo Derecho: Cámara inferior derecha del corazón que bombea la sangre desoxigenada hacia los pulmones a través de la arteria pulmonar.

Válvula Pulmonar: Válvula que se encuentra entre el ventrículo derecho y la arteria pulmonar. Permite que la sangre fluya del ventrículo a los pulmones y evita el retroceso.

Tronco Pulmonar: Arteria principal que transporta la sangre desoxigenada desde el ventrículo derecho hacia los pulmones, donde se oxigenará.

4.1.3.2 Lado izquierdo del corazón (sangre oxigenada – rojo):

En la parte superior del corazón izquierdo, como sucede en el derecho, se encuentra la aurícula izquierda, en la que desembocan cuatro venas pulmonares, responsables de llevar la sangre oxigenada desde los pulmones hasta el corazón.

Muestra una orejuela larga y estrecha. La aurícula se comunica con el ventrículo a través de una válvula, la mitral, que permite el paso de la sangre desde la primera hasta el segundo, pero no en sentido contrario. Cuando se produce la sístole, la sangre pasa del ventrículo a la arteria aorta a través de la válvula aórtica y es distribuida por todo el organismo. El ventrículo izquierdo es más largo y estrecho que el derecho, de tal forma que la punta del corazón está formada por ese ventrículo.

Aurícula Izquierda: Cámara superior izquierda del corazón que recibe la sangre oxigenada que regresa de los pulmones a través de las venas pulmonares.

Venas Pulmonares: Vasos sanguíneos que transportan la sangre oxigenada desde los pulmones hacia la aurícula izquierda.

Válvula Mitral (o Bicúspide): Válvula que se encuentra entre la aurícula y el ventrículo izquierdos. Permite que la sangre fluya de la aurícula al ventrículo y evita el retroceso.

Ventrículo Izquierdo: Cámara inferior izquierda del corazón, la más musculosa, que bombea la sangre oxigenada hacia el resto del cuerpo a través de la aorta.

Válvula Aórtica: Válvula que se encuentra entre el ventrículo izquierdo y la aorta. Permite que la sangre fluya del ventrículo a la aorta y evita el retroceso.

Aorta: La arteria más grande del cuerpo. Transporta la sangre oxigenada desde el ventrículo izquierdo hacia todas las partes del cuerpo. La imagen también muestra:

Aorta (Hacia los pulmones): Esta flecha probablemente indica el flujo de sangre desoxigenada desde el ventrículo derecho hacia el tronco pulmonar que se dirige a los pulmones.

Aorta Descendente: La porción de la aorta que desciende desde el arco aórtico y suministra sangre oxigenada a la parte inferior del cuerpo.

Hacia la cabeza y los miembros superiores: Ramas de la aorta que llevan sangre oxigenada a la cabeza y los brazos.

Desde la parte superior del cuerpo: Indica el retorno de sangre desoxigenada desde la parte superior del cuerpo a través de la vena cava superior.

4.2 Anatomía de los vasos sanguíneos

Para empezar, entiéndase por "vaso sanguíneo" como una estructura tubular que cumple con la función de transportar la sangre a través del cuerpo humano, facilitando así el intercambio de gases, hormonas, nutrientes y desechos metabólicos hacia y desde los tejidos del cuerpo. Estas estructuras, en conjunto con el corazón forman una red compleja denominada "sistema circulatorio" o "sistema cardiovascular" que, como se mencionó anteriormente hace posible el flujo sanguíneo.

Este sistema es esencial para mantener la homeostasis y permitir la comunicación entre diferentes órganos y sistemas. Los vasos sanguíneos, se localizan alrededor de todo el cuerpo y su morfología varía acorde a la función que cumplen. Tanto arterias como venas están formadas por tres capas o túnicas:

Túnica íntima: es la capa más interna del vaso sanguíneo, en contacto directo con la sangre. Su función principal es proporcionar una superficie lisa y no trombogénica para el flujo sanguíneo, además de participar en la regulación del tono vascular y la permeabilidad selectiva.

Túnica media: es la capa intermedia, compuesta principalmente por músculo liso y fibras elásticas. Su función principal es controlar el diámetro del vaso a través de la contracción y relajación del músculo liso (vasoconstricción y vasodilatación), lo que influye directamente en la presión arterial y el flujo sanguíneo. La proporción de músculo liso y elastina varía según el tipo de vaso.

Túnica adventicia: es la capa más externa, constituida por tejido conectivo laxo con fibras de colágeno y elásticas. Su función principal

es proporcionar soporte estructural al vaso sanguíneo, anclarlo a los tejidos circundantes y contener la vasa vasorum (pequeños vasos que irrigan las paredes de los vasos grandes) y los nervi vasorum (nervios que controlan la contracción del músculo liso en la túnica media).

4.2.1 Clasificación de los vasos sanguíneos

4.2.1.1 Arterias

Estos vasos sanguíneos transportan la sangre desde el corazón hacia los diferentes tejidos del cuerpo humano. En la circulación sistémica, llevan sangre rica en oxígeno; en la circulación pulmonar, transportan sangre pobre en oxígeno hacia los pulmones. Las arterias poseen paredes gruesas y un lumen estrecho, lo cual les permite resistir la alta presión producto de la contracción que ejerce el corazón para expulsarla.

Las arterias deben ser fuertes porque la presión arterial es más elevada en las mismas, por ello, los músculos de sus arterias se comprimen y relajan constantemente para ayudar a ajustar su presión arterial. En la medida de que se acercan hacia los tejidos más periféricos, comienzan un proceso de ramificación progresiva, disminuyendo en diámetro y espesor de su pared con cada división. Los principales troncos arteriales del cuerpo son la aorta (circulación sistémica) y el tronco pulmonar (circulación pulmonar). Las arterias coronarias son las arterias que proporcionan sangre oxigenada a los tejidos propios del corazón. Las arterias normalmente se dividen en tres grupos:

Arterias de conducción: son aquellas que se desprenden directamente del corazón y sus ramas principales. En sus paredes poseen alto grado de elasticidad debido a que poseen elastina, y es esa elasticidad lo que

les permite expandirse y retroceder con cada latido cardíaco, manteniendo así, un flujo sanguíneo continuo. La presión en estas arterias se encuentra dentro de los niveles más altos en el sistema circulatorio. En estas, la túnica íntima está formada por endotelio y la túnica media posee un gran componente elástico

Arterias de distribución: son aquellas cuya función, es transportar sangre a sistemas orgánicos específicos. Estas se ramifican de las arterias de conducción y cuentan con alta composición de músculo liso en la túnica media, a su vez, están recubiertas internamente por endotelio, lo que les permite regular el flujo sanguíneo mediante vasoconstricción y vasodilatación. La túnica externa está compuesta de tejido conectivo fibromuscular, con una proporción mayor de fibras elásticas que de colágeno.

Arteriolas: son las arterias más pequeñas, que regulan el flujo sanguíneo hacia los capilares mediante contracción del músculo liso en la túnica media, la cual actúa como un esfínter. Su contracción o relajación tiene un impacto significativo en la presión arterial.

La presión en estas arterias disminuye de forma progresiva desde el nivel más alto en las arterias de conducción hasta el más bajo en las arteriolas. Las paredes de las arterias están conformadas por 3 capas: la túnica íntima, la túnica media y la túnica externa (Figura 44).

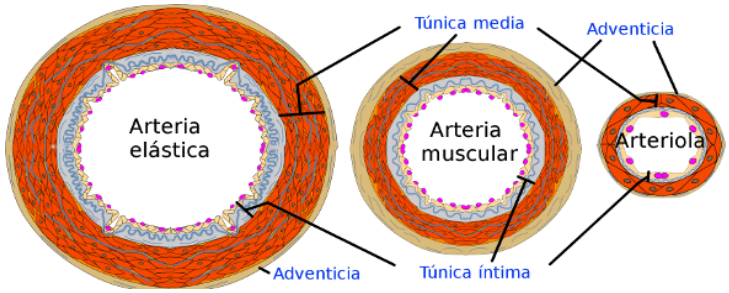


Figura 44. Arterias.

Fuente: Molist, P., & Pombal, M. Á. (s/f).

4.2.1.2 Capilares

Un capilar es un canal microscópico que irriga los tejidos, un proceso denominado perfusión. El intercambio de gases y otras sustancias se produce entre la sangre de los capilares y las células circundantes y su líquido tisular. Son los vasos más directamente conectados con los órganos. Sus paredes tienen el espesor de una célula endotelial grande y son la única barrera entre la sangre y el fluido intersticial de los tejidos. Poseen un estrecho lumen el cual tiene las dimensiones exactas para el paso de las células sanguíneas más grandes (Figura 45).

Para que los capilares funcionen, sus paredes deben ser permeables, permitiendo el paso de sustancias y esta varía dependiendo de los tejidos que los rodean y el tipo de unión entre las células endoteliales que forman su pared. Existen tres tipos principales de capilares, que se diferencian según su grado de permeabilidad: capilares continuos, fenestrados y sinusoidales

Capilares continuos: tienen un endotelio completo con uniones estrechas, permitiendo el paso de moléculas pequeñas como agua, glucosa y iones. Se encuentran en la piel, músculos y cerebro.

Capilares fenestrados: presentan poros o fenestraciones en sus células endoteliales, lo que aumenta su permeabilidad. Se encuentran en órganos como los riñones, el intestino delgado y las glándulas endocrinas, donde se requiere un intercambio más rápido de sustancias.

Capilares sinusoidales: tienen grandes espacios intercelulares y fenestraciones, además de una membrana basal incompleta o ausente. Esto permite el paso de células sanguíneas y proteínas grandes. Se encuentran en órganos como el hígado, la médula ósea y el bazo.

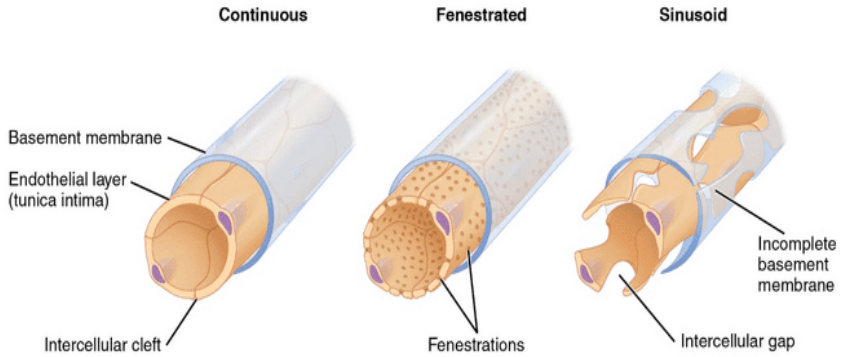


Figura 45. Vasos sanguíneos.

Fuente: Betts (2022).

4.2.2 Venas

Las venas son vasos sanguíneos que conducen la sangre desde los capilares de los tejidos de regreso al corazón. A diferencia de las arterias, las venas poseen paredes más delgadas, menor cantidad de músculo liso y tejido elástico, lo que las hace más distensibles. Esto les permite actuar como reservorios de sangre, almacenando aproximadamente el 60-70% del volumen sanguíneo total en condiciones fisiológicas normales.

Las venas poseen las mismas tres capas que otros vasos (íntima, media y adventicia), pero con proporciones distintas. En particular, la túnica

adventicia suele ser la más prominente, y muchas venas, especialmente las de las extremidades, presentan válvulas internas que impiden el retroceso del flujo sanguíneo.

4.2.2.1 Tipos de venas

Vénulas: son las venas más pequeñas, que se forman a partir de la confluencia de los capilares y poseen un recubrimiento interno endotelial y una delgada túnica externa. Inicialmente, las vénulas postcapilares son muy porosas, permitiendo la migración de leucocitos desde la sangre hacia los tejidos. Conecta las venas más grandes con los capilares sanguíneos y participan en el intercambio de sustancias y en la respuesta inflamatoria.

Venas profundas: las venas profundas se encuentran en los músculos y a lo largo de los huesos. Estas venas realizan el importante trabajo de transportar la sangre deficiente en oxígeno de retorno al corazón. En las piernas, las venas profundas contienen aproximadamente el noventa por ciento de la sangre que vuelve al corazón. Las venas profundas contienen válvulas unidireccionales que mantienen la sangre en la dirección correcta.

Venas Superficiales: las venas superficiales suelen ser más pequeñas que las profundas. Estas venas contienen válvulas al igual que las profundas. Sin embargo, a diferencia de las venas profundas, estas venas no están rodeadas de músculo. Las venas superficiales se encuentran justo debajo de la piel, por lo tanto, se pueden ver fácilmente. Las venas superficiales transportan la sangre desde los tejidos externos cercanos a la superficie de la piel hasta las venas profundas (a través de las venas perforantes). Sin embargo, esta sangre se mueve más despacio toda vez

que no está siendo estrujada directamente por los músculos circundantes.

Venas perforantes: las venas perforantes también se conocen como venas conectoras. Estas venas son cortas y llevan la sangre de las venas superficiales a las venas profundas. Las venas perforantes contienen válvulas que se cierran cuando los músculos de la pantorrilla se comprimen para que la sangre no retroceda de las venas profundas a las superficiales (Figura 46).

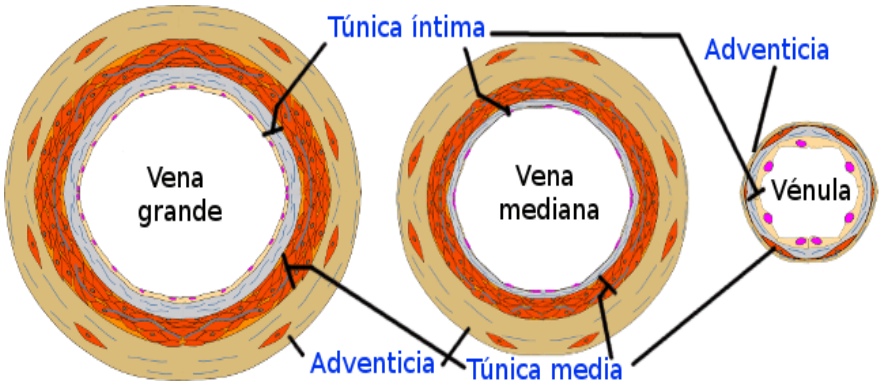


Figura 46. Vena.

Fuente: Molist (s/f).

4.3 Fisiología de la circulación sanguínea

La fisiología de la circulación sanguínea constituye uno de los pilares fundamentales para la comprensión del funcionamiento integral del organismo, ya que permite explicar cómo se mantiene el aporte adecuado de oxígeno y nutrientes a los tejidos, así como la eliminación de productos metabólicos. El sistema circulatorio opera bajo principios hemodinámicos precisos que garantizan la adaptación continua del flujo

sanguíneo a las demandas metabólicas locales, asegurando así la homeostasis (Guyton & Hall, 2021).

Uno de los principios esenciales de la función circulatoria es que el flujo sanguíneo tisular se regula de manera local según las necesidades metabólicas específicas de cada órgano. La microcirculación desempeña un papel central en este proceso mediante mecanismos de vasodilatación y vasoconstricción, modulados tanto por factores locales como por la influencia del sistema nervioso autónomo y diversas hormonas (Boron & Boulpaep, 2017). Asimismo, el gasto cardíaco se ajusta en función del retorno venoso y de los requerimientos globales del organismo, actuando el corazón como una bomba adaptable a las variaciones del flujo circulatorio.

Por otra parte, la regulación de la presión arterial constituye un mecanismo relativamente independiente, sustentado en reflejos nerviosos rápidos y en sistemas hormonales y renales de control a mediano y largo plazo, que mantienen la presión dentro de rangos compatibles con la perfusión tisular adecuada (Guyton & Hall, 2021).

En este capítulo se desarrollan los principios básicos que rigen la función circulatoria, la distribución del flujo sanguíneo entre los distintos componentes vasculares y las variaciones de presión a lo largo de la circulación sistémica y pulmonar, proporcionando una base esencial para la comprensión fisiológica y clínica del sistema cardiovascular.

4.3.1 Principios básicos de la función circulatoria

Aunque la función circulatoria es muy compleja, hay tres principios básicos que subyacen en todas las funciones del sistema.

En la mayor parte de los tejidos el flujo sanguíneo se ajusta a la demanda metabólica local: un tejido en actividad requiere un aporte de nutrientes muy superior al de reposo y, en consecuencia, un flujo sanguíneo también mucho mayor, en ocasiones hasta 20 o 30 veces el nivel de reposo, a pesar de que el corazón normalmente no puede aumentar su gasto cardíaco en más de 4-7 veces su gasto cardíaco por encima del nivel en reposo. Por tanto, no es posible aumentar simplemente el flujo sanguíneo en todo el organismo cuando un tejido en particular demanda el aumento del flujo (Lilly, 2020).

Por el contrario, la microvasculatura de cada tejido vigila continuamente las necesidades de su territorio, así como la disponibilidad de oxígeno y de otros nutrientes y la acumulación de dióxido de carbono y de otros residuos, y, a su vez, estos microvasos actúan directamente sobre los vasos sanguíneos locales, dilatándolos y contrayéndolos, para controlar el flujo sanguíneo local con precisión hasta el nivel requerido para la actividad tisular. Además, el control nervioso de la circulación desde el sistema nervioso central y las hormonas también colaboran en el control del flujo sanguíneo tisular (Costanzo, 2022).

El gasto cardíaco es la suma de todos los flujos locales de los tejidos: Cuando el flujo sanguíneo atraviesa un tejido, inmediatamente vuelve al corazón a través de las venas y el corazón responde automáticamente a este aumento del flujo aferente de sangre bombeándolo inmediatamente hacia las arterias. Así, el corazón actúa como un autómata respondiendo a las necesidades de los tejidos. No obstante, a menudo necesita ayuda en forma de señales nerviosas especiales que le hagan bombear las cantidades necesarias del flujo sanguíneo (Mohrman & Heller, 2018).

- Aumentan la fuerza de bomba del corazón
- Provocan la contracción de los grandes reservorios venosos para aportar más sangre al corazón
- Provocan una constricción generalizada de las arteriolas de muchos tejidos, con lo que se acumula más sangre en las grandes arterias para aumentar la presión arterial

La regulación de la presión arterial es generalmente independiente del control del flujo sanguíneo local o del control del gasto cardíaco: El sistema circulatorio está dotado de un extenso sistema de control de la presión arterial. Por ejemplo, si en algún momento la presión cae significativamente por debajo del nivel normal aproximado de 100 mmHg, una descarga de reflejos nerviosos provoca en pocos segundos una serie de cambios circulatorios que elevan la presión de nuevo hasta la normalidad. En especial, las señales nerviosas (Barrett et al., 2019).

Después, y en períodos más prolongados, horas o días, los riñones también tienen un papel importante en el control de la presión, tanto al segregar hormonas que controlan la presión como al regular el volumen de sangre. Así pues, la circulación atiende específicamente las necesidades de cada tejido en particular (Koeppen & Stanton, 2017).

4.3.2 Distribución y presiones sanguíneas

Es importante entender el papel que tiene cada componente de la circulación:

La función de las arterias consiste en transportar la sangre con una presión alta hacia los tejidos, motivo por el cual las arterias tienen unas

paredes vasculares fuertes y unos flujos sanguíneos importantes con una velocidad alta.

Las arteriolas son las últimas ramas pequeñas del sistema arterial y actúan controlando los conductos a través de los cuales se libera la sangre en los capilares. Las arteriolas tienen paredes musculares fuertes que pueden cerrarlas por completo o que pueden, al relajarse, dilatar los vasos varias veces, con lo que pueden alterar mucho el flujo sanguíneo en cada lecho tisular en respuesta a sus necesidades (Rhoades & Bell, 2012).

La función de los capilares consiste en el intercambio de líquidos, nutrientes, electrólitos, hormonas y otras sustancias en la sangre y en el líquido intersticial. Para cumplir esta función, las paredes del capilar son finas y tienen muchos poros capilares diminutos, que son permeables al agua y a otras moléculas pequeñas (Rhoades & Bell, 2012).

Las vénulas recogen la sangre de los capilares y después se reúnen gradualmente formando venas de tamaño progresivamente mayor. Las venas funcionan como conductos para el transporte de sangre que vuelve desde las vénulas al corazón; igualmente importante es que sirven como una reserva importante de sangre extra. Como la presión del sistema venoso es muy baja, las paredes de las venas son finas. Aun así, tienen una fuerza muscular suficiente para contraerse o expandirse y, de esa forma, actuar como un reservorio controlable para la sangre extra, mucha o poca, dependiendo de las necesidades de la circulación (Rhoades & Bell, 2012).

4.3.2.1 Presiones en las distintas porciones de la circulación

Como el corazón bombea la sangre continuamente hacia la aorta, la presión media en este vaso es alta, con una media en torno a los 100 mmHg. Además, como el bombeo cardíaco es pulsátil, la presión arterial alterna entre una presión sistólica de 120 mmHg y una diastólica de 80 mmHg, como se ve en la parte inferior de la infografía. A medida que el flujo sanguíneo atraviesa la circulación sistémica, la presión media va cayendo progresivamente hasta llegar casi a 0 mmHg en el momento en el que alcanza la terminación de las venas cava superior e inferior, donde se vacía en la aurícula derecha del corazón. La presión de los capilares sistémicos oscila desde 35 mmHg cerca de los extremos arteriolares hasta tan solo 10 mmHg cerca de los extremos venosos, pero la presión media "funcional" en la mayoría de los lechos vasculares es de 17 mmHg, aproximadamente, una presión suficientemente baja que permite pequeñas fugas de plasma a través de los poros diminutos de las paredes capilares, aunque los nutrientes pueden difundir fácilmente a través de los mismos poros hacia las células de los tejidos externos. E n la parte derecha del cuadro se ven las presiones respectivas en los distintos componentes de la circulación pulmonar. En las arterias pulmonares la presión es pulsátil, igual que en la aorta, pero la presión es bastante menor: la presión sistólica arterial pulmonar alcanza un promedio de 25 mmHg, y la diastólica, de 8 mmHg, con una presión arterial pulmonar media de solo 16 mmHg. La media de la presión capilar pulmonar alcanza un promedio de solo 7 mmHg. Aun así, el flujo sanguíneo por minuto a través de los pulmones es el mismo que en la circulación sistémica. Las bajas presiones del sistema pulmonar coinciden con las necesidades de los pulmones, ya que lo único que se

necesita es la exposición de la sangre en los capilares pulmonares al oxígeno y otros gases en los alvéolos pulmonares (Tortora & Derrickson, 2020).

4.4 Aplicaciones clínicas

Caso clínico 1. Taquicardia supraventricular en paciente femenina

1. Contextualización y presentación clínica

Descripción Breve del Paciente:

Paciente femenina de 36 años, sin antecedentes médicos cardiovasculares relevantes ni hábitos tóxicos conocidos. Se presenta sin factores de riesgo cardiovascular identificados al momento de la consulta.

Presentación Clínica:

La paciente acude a emergencia con dolor precordial de tipo opresivo de intensidad moderada, que se irradia hacia el hombro y brazo izquierdo. Además, refiere una sensación de palpitaciones. Menciona haber experimentado dos episodios previos similares de palpitaciones en los últimos 5 meses, siendo el primero autolimitado y de corta duración, y el segundo motivo de la consulta actual.

Síntomas y Signos Visibles:

- Dolor precordial opresivo: Reportado por la paciente.
- Irradiación del dolor: Hacia hombro y brazo izquierdo.
- Palpitaciones: Sensación subjetiva de latidos cardíacos rápidos o irregulares.

- Taquicardia supraventricular: Objetivo, evidenciado en el electrocardiograma (ECG) inicial con una frecuencia cardíaca de 225 latidos por minuto (LPM).

2. Evaluación diagnóstica

Exploración Anatómica Relevante:

Este caso clínico implica directamente la anatomía y fisiología del sistema de conducción cardíaco. La taquicardia supraventricular (TSV) se origina por un cortocircuito o reentrada en las estructuras cardíacas por encima de los ventrículos. En este caso, la sospecha es de una reentrada auriculoventricular, lo que implica una vía accesoria o una alteración en la conducción normal a través del nodo auriculoventricular y las vías de Purkinje. El conocimiento de la anatomía de las aurículas, el nodo sinusal, el nodo AV, el haz de His y las ramas de Purkinje es crucial para comprender el origen y la propagación de estas arritmias, y para guiar procedimientos como la ablación.

Pruebas Diagnósticas Utilizadas:

- Electrocardiograma (ECG): Fundamental para el diagnóstico. El ECG inicial reveló una taquicardia supraventricular con una frecuencia de 225 LPM, y el ECG basal posterior a la infusión de amiodarona mostró un ritmo sinusal de 70-76 LPM. El diagnóstico final se basó en "taquicardia supraventricular por reentrada auriculoventricular".
- Maniobra de Valsalva modificada: Se utilizó como una intervención inicial para intentar revertir la taquicardia, aunque en este caso no hubo reversión.

3. Abordaje terapéutico y farmacológico

Medicamentos Recomendados:

- Amiodarona (inicialmente):
- Mecanismo de acción: La amiodarona es un antiarrítmico de clase III (según la clasificación de Vaughan Williams). Actúa prolongando la duración del potencial de acción cardíaco y el período refractario efectivo en todas las partes del miocardio (aurículas, ventrículos, nodo AV y sistema de His-Purkinje). Esto lo logra bloqueando los canales de potasio principalmente, pero también tiene efectos sobre los canales de sodio y calcio, y propiedades alfa y betabloqueantes adrenérgicas. Reduce la conducción y prolonga la repolarización.

Farmacocinética:

Absorción: Variable y lenta por vía oral, con una biodisponibilidad del 35-65%. Por vía intravenosa, su efecto es más rápido.

Distribución: Se distribuye ampliamente en los tejidos (grasa, hígado, pulmón), lo que contribuye a su gran volumen de distribución y prolongada semivida.

Metabolismo: Principalmente hepático, a través del CYP3A4 y CYP2C8, formando un metabolito activo, desetilamiodarona (DEA).

Eliminación: Lenta y principalmente biliar/fecal. Su semivida de eliminación es muy prolongada (varias semanas a meses), lo que explica la lentitud para alcanzar el estado de equilibrio y para eliminarla del organismo.

Farmacodinamia: Suprime la excitabilidad y la conducción anómala, estabilizando el ritmo cardíaco. En este caso, se utilizó para la reversión aguda de la taquicardia.

Propafenona (al alta):

Mecanismo de acción: La propafenona es un antiarrítmico de clase IC. Actúa principalmente como un bloqueador potente de los canales de sodio dependientes de voltaje en las células cardíacas, disminuyendo la velocidad de despolarización (fase 0 del potencial de acción) y enlenteciendo la conducción en el miocardio auricular y ventricular, y en el sistema de His-Purkinje. También posee propiedades beta-bloqueantes débiles.

- **Farmacocinética:**

Absorción: Buena por vía oral, pero con un metabolismo de primer paso significativo.

Distribución: Amplia.

Metabolismo: Hepático, a través del CYP2D6 y CYP3A4. Existen metabolizadores rápidos y lentos, lo que influye en los niveles plasmáticos. Tiene un metabolito activo, 5-hidroxipropafenona.

Eliminación: Renal y fecal. Su semivida es bifásica, con una fase terminal de 2-10 horas en metabolizadores rápidos y de hasta 32 horas en metabolizadores lentos.

Farmacodinamia: Suprime las arritmias al prolongar los intervalos PR y QRS, estabilizando el ritmo cardíaco y previniendo recurrencias de taquicardias supraventriculares.

Efectos secundarios y cómo se manejan:

- **Amiodarona**:

Efectos secundarios: Amplio espectro de efectos adversos debido a su acumulación en tejidos. Incluyen toxicidad pulmonar (fibrosis pulmonar, la más grave), disfunción tiroidea (hipo o hipertiroidismo), toxicidad hepática, neuropatía periférica, fotosensibilidad cutánea (coloración azul-gris de la piel), depósitos corneales (casi universales, usualmente asintomáticos) y bradicardia.

Manejo: Requiere un monitoreo estrecho de la función pulmonar (radiografías de tórax, pruebas de función pulmonar), tiroidea (TSH, T3, T4), hepática (transaminasas) y oftalmológica. La aparición de efectos adversos graves puede requerir la suspensión del fármaco y el manejo sintomático.

- **Propafenona**:

Efectos secundarios: Los más comunes son náuseas, vómitos, sabor metálico, mareos y estreñimiento. Puede causar bradicardia, trastornos de la conducción (prolongación del PR, QRS, QT), y proarritmia (paradójicamente, puede inducir nuevas arritmias o empeorar las existentes, especialmente en pacientes con cardiopatía estructural).

Manejo: Generalmente se manejan con ajuste de dosis o terapias de soporte. La proarritmia es una preocupación importante, por lo que su uso está contraindicado en pacientes con cardiopatía estructural significativa.

4. Consideraciones bioquímico-farmacéuticas

Interacciones Medicamentosas:

- **Amiodarona**: Es un potente inhibidor de varias enzimas CYP (principalmente CYP2C9, CYP2D6, CYP3A4) y de la P-glicoproteína. Esto puede aumentar significativamente los niveles plasmáticos de otros medicamentos metabolizados por estas vías.
- **Anticoagulantes orales (warfarina):** Riesgo de sangrado por aumento de los niveles de warfarina; requiere reducción de la dosis de warfarina y monitoreo estrecho del INR.
- **Digoxina**: Aumento de los niveles de digoxina, riesgo de toxicidad.
- **Estatinas (simvastatina)**: Riesgo de miopatía/rabdomiólisis.
- **Betabloqueantes**, **calcioantagonistas**: Riesgo de bradicardia severa e hipotensión.
- **Otros antiarrítmicos (quinidina, flecainida):** Riesgo de proarritmia y toxicidad.
- **Propafenona**: También es un sustrato e inhibidor de enzimas CYP (principalmente CYP2D6, CYP1A2, CYP3A4).
- **Digoxina**: Aumento de los niveles de digoxina.
- **Anticoagulantes orales (warfarina):** Potenciación del efecto anticoagulante.
- **Betabloqueantes:** Riesgo de bradicardia e hipotensión.
- **Ritonavir (inhibidor de CYP3A4):** Aumento de los niveles de propafenona.
- **Inductores de CYP (rifampicina):** Disminución de los niveles de propafenona.

Dosis y Administración:

- **Amiodarona (intravenosa):** La dosis inicial para la reversión aguda de arritmias suele ser una carga intravenosa seguida de una infusión de mantenimiento. La dosificación debe ser cuidadosamente ajustada según la respuesta clínica y la tolerancia del paciente.
- **Propafenona (oral):** La dosis de 150 mg VO QD (una vez al día) indicada al alta es una dosis de mantenimiento. La dosificación de propafenona puede requerir ajustes basados en la respuesta del paciente y la función renal/hepática, aunque no se detalla en el caso la función renal de la paciente. La toma "después del desayuno" es importante para optimizar la absorción y reducir posibles efectos gastrointestinales.

Monitoreo:

El farmacéutico debe estar atento a:

- **Signos vitales**: Frecuencia cardíaca y presión arterial para detectar bradicardia o hipotensión.
- **ECG seriados**: Para evaluar la efectividad del tratamiento y detectar prolongación excesiva de intervalos (PR, QRS, QT) que puedan indicar proarritmia o toxicidad.
- **Electrolitos**: Niveles de potasio y magnesio, ya que los desequilibrios pueden exacerbar las arritmias y la toxicidad de los antiarrítmicos.
- **Función renal y hepática**: Monitoreo de creatinina, BUN, AST, ALT, bilirrubina, especialmente con amiodarona.

- **Función tiroidea (TSH, T3, T4):** Crucial para pacientes en tratamiento prolongado con amiodarona.
- **Niveles de fármaco en sangre**: En algunos casos, la monitorización de los niveles plasmáticos de digoxina o warfarina puede ser necesaria si el paciente está recibiendo estos fármacos concurrentemente.

5. Rol del bioquímico farmacéutico

Rol del Farmacéutico:

El farmacéutico desempeña un papel fundamental en este caso clínico:

Conciliación de medicamentos:

Revisar la medicación actual del paciente para identificar posibles interacciones y duplicidades.

Educación al paciente:

- Explicar la importancia de la adherencia al tratamiento con propafenona, incluyendo la dosis, frecuencia y forma de administración ("después del desayuno").
- Informar sobre los posibles efectos secundarios de la propafenona (sabor metálico, náuseas, mareos) y cuándo buscar atención médica (por ejemplo, si los síntomas empeoran o si experimenta nuevos episodios de palpitaciones o mareos severos).
- Instruir sobre la importancia del seguimiento médico y los controles necesarios (citas de cardiología, posibles estudios adicionales).

Detección y manejo de interacciones:

Al revisar el perfil farmacológico del paciente, el farmacéutico puede detectar interacciones potenciales, como la propafenona con anticoagulantes u otros fármacos, y alertar al médico para ajustes de dosis o monitoreo adicional.

Monitoreo de seguridad y efectividad:

Revisar los resultados de laboratorio (función hepática, renal, electrolitos) y los ECG para asegurar que el tratamiento sea seguro y efectivo, e identificar cualquier señal de toxicidad o ineficacia.

Apoyo en el cumplimiento:

Ofrecer estrategias para mejorar la adherencia, como recordatorios de dosis o sistemas de organización de medicamentos.

Consejos Prácticos para Farmacéuticos:

- **Estrategia "Teach-Back":** Pedir al paciente que repita la información clave sobre su medicación para asegurar la comprensión.
- **Alerta sobre síntomas de alarma:** Enfatizar a la paciente que debe buscar atención médica si experimenta un retorno de los síntomas de taquicardia o cualquier síntoma inusual mientras toma propafenona.
- **Coordinación con el equipo médico:** Mantener una comunicación fluida con el cardiólogo para discutir cualquier preocupación sobre el tratamiento, ajustar dosis o considerar alternativas.

- **Considerar la ablación:** Dado que la paciente es joven y ha tenido episodios recurrentes, la ablación por catéter es una opción curativa importante. El farmacéutico puede reforzar la importancia de esta derivación y preparar a la paciente para el procedimiento, explicando lo que puede esperar post-procedimiento en términos de manejo farmacológico.

6. Claves de aprendizaje

Lecciones Clave:

- **Anatomía y fisiología cardíaca:** El conocimiento profundo del sistema de conducción es fundamental para comprender las arritmias supraventriculares y el mecanismo de acción de los antiarrítmicos. Identificar una reentrada auriculoventricular guía el diagnóstico y el tratamiento definitivo (ablación).
- **Farmacología de los antiarrítmicos:** Comprender los diferentes mecanismos de acción, farmacocinética y farmacodinamia de fármacos como amiodarona y propafenona es esencial para su uso seguro y efectivo. La prolongada semivida y las múltiples interacciones de la amiodarona, así como el perfil de seguridad de la propafenona, son puntos críticos.
- **Efectos adversos y monitoreo:** La importancia de un monitoreo proactivo para detectar y manejar los efectos secundarios de los antiarrítmicos, especialmente aquellos con toxicidad sistémica significativa como la amiodarona.
- **Importancia del Enfoque Multidisciplinario:** Este caso subraya la necesidad de una colaboración estrecha entre el cardiólogo (diagnóstico y manejo agudo), el electrofisiólogo (manejo

definitivo mediante ablación) y el farmacéutico (manejo farmacológico, educación del paciente, monitoreo y prevención de interacciones). El farmacéutico es un pilar fundamental en la educación del paciente para mejorar la adherencia al tratamiento y en la prevención de eventos adversos relacionados con los medicamentos, optimizando así los resultados del paciente y su calidad de vida.

Caso clínico 2. Hipertensión arterial esencial en el paciente adulto mayor

1. Contextualización y presentación clínica

Descripción Breve del Paciente:

Paciente masculino de 72 años de edad, jubilado. Antecedentes médicos relevantes incluyen diabetes mellitus tipo 2 diagnosticada hace 10 años (bien controlada con metformina) y dislipidemia mixta (tratada con atorvastatina). Tiene un historial familiar de hipertensión y enfermedad cardiovascular. No fuma ni consume alcohol regularmente.

Presentación Clínica:

El paciente acude a su chequeo médico anual de rutina. Aunque refiere sentirse "generalmente bien" y asintomático, el control de presión arterial en la consulta revela cifras elevadas de forma consistente. Sus lecturas de presión arterial en las últimas tres visitas han sido: 155/95 mmHg, 160/98 mmHg y 158/96 mmHg. El paciente refiere que ocasionalmente ha notado "mareos leves al levantarse rápido" en las últimas semanas, pero no los asocia directamente con su presión arterial.

Síntomas y Signos Visibles:

- Cifras de presión arterial elevadas: Sistólica consistentemente >140 mmHg y Diastólica >90 mmHg.
- Mareos leves posturales: Síntoma inespecífico que podría estar relacionado con la hipertensión o con cambios en la medicación.
- Obesidad abdominal leve: Aunque no se especifica el IMC, se observa la tendencia.

2. Evaluación diagnóstica

Exploración Anatómica Relevante:

La hipertensión arterial afecta principalmente el sistema cardiovascular, con implicaciones anatómicas y fisiológicas en:

Arterias: La hipertensión crónica provoca un remodelado de la pared arterial, aumentando la rigidez y el grosor de la íntima y media (hipertrofia y fibrosis). Esto reduce la elasticidad de las arterias (arteriosclerosis), lo que perpetúa la elevación de la presión y aumenta el riesgo de eventos cardiovasculares (ACV, infarto). El conocimiento de la anatomía de las arterias (grandes, medianas y arteriolas) es crucial para entender cómo la presión alta afecta el flujo sanguíneo y la función de órganos diana.

Corazón: El aumento crónico de la poscarga (resistencia vascular periférica elevada) obliga al ventrículo izquierdo a trabajar más, llevando a una hipertrofia ventricular izquierda (HVI). Con el tiempo, esto puede comprometer la función diastólica y sistólica, derivando en insuficiencia cardíaca. Se resalta la anatomía de las cavidades cardíacas y el miocardio.

Riñones: Los riñones son tanto causa como órgano diana de la hipertensión. La disfunción renal puede elevar la presión (hipertensión renovascular), y la hipertensión prolongada puede dañar la microvasculatura renal (nefroesclerosis hipertensiva), llevando a insuficiencia renal. La anatomía de las arteriolas aferente y eferente y el glomérulo es fundamental para entender el sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA), clave en la regulación de la presión.

-Cerebro y Ojos: La hipertensión daña los vasos pequeños del cerebro (riesgo de ACV isquémico o hemorrágico) y de la retina (retinopatía hipertensiva).

Pruebas Diagnósticas Utilizadas:

-Mediciones de Presión Arterial en Consulta: Múltiples lecturas elevadas confirmaron la sospecha.

Análisis de Sangre:

- Glucemia en ayunas y HbA1c: Para evaluar el control de la diabetes.
- Perfil lipídico: Para evaluar la dislipidemia.
- Creatinina sérica y TFG (Tasa de Filtración Glomerular): Para evaluar la función renal y descartar causas secundarias o daño en órgano diana.
- Electrolitos (Na, K): Para detectar desequilibrios que puedan influir en la presión o ser afectados por el tratamiento.
- Urinálisis: Para detectar proteinuria, un signo temprano de daño renal.

- Electrocardiograma (ECG): Para descartar hipertrofia ventricular izquierda u otras anomalías cardíacas.

Diagnóstico Final:

Hipertensión Arterial Esencial (Primaria) Grado 2, con comorbilidades de Diabetes Mellitus tipo 2 y Dislipidemia Mixta.

3. Abordaje terapéutico y farmacológico

Considerando el perfil del paciente (adulto mayor, diabético, dislipidémico) y sus cifras de PA, se decide iniciar tratamiento farmacológico y reforzar los cambios en el estilo de vida.

Medicamentos recomendados:

Lisinopril (Inhibidor de la ECA):

Mecanismo de acción: El lisinopril es un inhibidor de la enzima convertidora de angiotensina (ECA). Actúa bloqueando la conversión de angiotensina I a angiotensina II, que es un potente vasoconstrictor y estimulador de la liberación de aldosterona. Al reducir los niveles de angiotensina II, provoca vasodilatación (disminución de la resistencia vascular periférica), reduce la reabsorción de sodio y agua, y disminuye la secreción de aldosterona. También reduce la degradación de bradicinina, un vasodilatador. Es especialmente beneficioso en diabéticos por su efecto nefroprotector.

Farmacocinética:

Absorción: Biodisponibilidad oral incompleta y variable (aprox. 25-30%). No es afectado por los alimentos.

Distribución: No se une a proteínas plasmáticas significativamente.

Metabolismo: No se metaboliza en el hígado; se excreta inalterado.

Eliminación: Principalmente renal. La semivida de eliminación es de aproximadamente 12 horas.

Farmacodinamia:

Produce una disminución gradual de la presión arterial, con un inicio de acción de 1 hora y efecto máximo a las 6 horas. Es efectivo una vez al día.

Amlodipino (Calcioantagonista Dihidropiridínico):

Mecanismo de acción: El amlodipino es un bloqueador de los canales de calcio de tipo L de acción prolongada. Actúa inhibiendo el influjo de iones de calcio a través de las membranas de las células musculares lisas vasculares y cardíacas. En los vasos sanguíneos, esto provoca relajación de la musculatura lisa, resultando en vasodilatación arterial periférica y coronaria, lo que reduce la resistencia vascular periférica y, por lo tanto, la presión arterial.

Farmacocinética:

Absorción: Buena absorción oral (biodisponibilidad del 60-80%), no afectada por los alimentos. Distribución: Amplia, se une extensamente a proteínas plasmáticas (97.5%).

Metabolismo: Hepático extensivo (aproximadamente 90%) a metabolitos inactivos a través del sistema CYP3A4.

Eliminación: Renal (60%) y fecal (25%). Semivida de eliminación larga (30-50 horas), permitiendo una administración una vez al día.

Farmacodinamia: Proporciona un control suave y sostenido de la presión arterial durante 24 horas, con un inicio de acción gradual y un efecto antihipertensivo prolongado.

Efectos Secundarios y Cómo se Manejan:

Lisinopril:

Efectos secundarios:

Tos seca: Frecuente (5-20%), persistente y no productiva, debido a la acumulación de bradicinina.

Hipotensión: Especialmente en la primera dosis o en pacientes deshidratados.

Hiperpotasemia: Riesgo elevado en pacientes con insuficiencia renal o que toman diuréticos ahorradores de potasio o suplementos de potasio.

Angioedema: Raro pero grave (hinchazón de cara, labios, lengua, glotis), requiere atención médica inmediata y suspensión permanente.

Deterioro de la función renal: Raro, pero puede ocurrir, especialmente en pacientes con estenosis bilateral de la arteria renal.

Manejo: La tos puede requerir el cambio a un ARA II (por ejemplo, losartán). Para la hipotensión, se recomienda iniciar con dosis bajas. Monitorizar electrolitos para la hiperpotasemia.

Amlodipino:

Efectos secundarios:

Edema de tobillos/periférico:

El más común, relacionado con la vasodilatación arterial que no se acompaña de venodilatación, lo que lleva a un aumento de la presión hidrostática capilar.

- Cefalea: Común al inicio del tratamiento.
- Mareos y rubor facial: Debido a la vasodilatación.
- Palpitaciones: Raras.
- Manejo: El edema periférico suele ser dosis-dependiente y puede manejarse con la reducción de la dosis, la adición de un IECA/ARA II (que contrarrestan el efecto) o diuréticos (con precaución en este paciente). Cefalea y mareos suelen ser transitorios.

4. Consideraciones bioquímico-farmacéuticas

Interacciones Medicamentosas:

Lisinopril:

Diuréticos ahorradores de potasio (espironolactona), suplementos de potasio: Aumentan el riesgo de hiperpotasemia severa.

AINEs (antiinflamatorios no esteroideos): Pueden reducir el efecto antihipertensivo y aumentar el riesgo de deterioro de la función renal (especialmente en ancianos o deshidratados).

Litio: Aumento de los niveles séricos de litio, con riesgo de toxicidad.

Antidiabéticos (insulina, metformina): Potencia el efecto hipoglucemiante, lo que puede requerir ajuste de dosis de metformina.

Amlodipino:

- Inhibidores potentes de CYP3A4 (ketoconazol, eritromicina, ritonavir): Pueden aumentar los niveles plasmáticos de amlodipino, aumentando el riesgo de efectos secundarios (hipotensión, edema).
- Inductores de CYP3A4 (rifampicina, carbamazepina): Pueden reducir los niveles de amlodipino, disminuyendo su eficacia.
- Simvastatina: El amlodipino puede aumentar la exposición a la simvastatina, aumentando el riesgo de miopatía. Se recomienda limitar la dosis de simvastatina a 20 mg/día o cambiar a otra estatina. En este caso, como el paciente toma atorvastatina (que es menos afectada por CYP3A4), la interacción es menor, pero debe monitorearse.

Sildenafil/Tadalafil: Aumenta el riesgo de hipotensión sintomática.

Dosis y Administración:

Lisinopril: Se inicia con una dosis baja (ej., 5 mg una vez al día) y se titula gradualmente hacia arriba según la respuesta y la tolerancia, para minimizar el riesgo de hipotensión de primera dosis. Se toma una vez al día, independientemente de las comidas.

Amlodipino: Se inicia con una dosis baja (ej., 2.5 mg o 5 mg una vez al día) y se puede aumentar si es necesario. Se toma una vez al día, independientemente de las comidas.

Consideraciones para el paciente (adulto mayor, DM2, dislipidemia):

Lisinopril: La dosis debe ser ajustada si hay compromiso de la función renal (TFG <30 mL/min). En pacientes diabéticos, los IECA son de primera línea por su nefroprotección.

Amlodipino: La dosis inicial debe ser conservadora en adultos mayores debido a una posible disminución en la eliminación y mayor sensibilidad a los efectos antihipertensivos.

Polifarmacia: Se debe considerar la carga de medicamentos del paciente y simplificar el régimen de dosificación si es posible (ej., combinaciones fijas).

Monitoreo:

El farmacéutico debe realizar un monitoreo continuo para asegurar la efectividad y seguridad del tratamiento:

Presión Arterial: Monitoreo regular en casa por el paciente y en cada consulta. El objetivo es alcanzar <130/80 mmHg en este paciente diabético.

Función Renal: Monitoreo periódico de creatinina sérica y TFG (inicialmente a las 1-2 semanas de iniciar o ajustar IECA, y luego cada 6-12 meses) debido al lisinopril y a la diabetes.

Electrolitos (Potasio): Monitoreo de potasio sérico (inicialmente a las 1-2 semanas de iniciar IECA y luego periódicamente) debido al riesgo de hiperpotasemia con lisinopril.

Glucemia y HbA1c: Monitoreo continuo del control de la diabetes, ya que la hipertensión y la diabetes son comorbilidades.

Perfil Lipídico: Monitoreo para asegurar el control de la dislipidemia.

Síntomas: Preguntar activamente sobre la presencia de tos seca, mareos, edema en tobillos, o cualquier síntoma nuevo que pueda sugerir efectos adversos.

Adherencia: Evaluar el cumplimiento del paciente con su medicación y estilo de vida.

5. Rol del bioquímico farmacéutico

Rol del Farmacéutico:

El farmacéutico es un componente vital en el manejo de este paciente hipertenso:

Educación al Paciente:

Explicar la importancia de tomar la medicación diaria, incluso si se siente bien, ya que la hipertensión suele ser asintomática.

Instruir sobre la toma correcta de lisinopril y amlodipino (dosis, frecuencia, relación con las comidas).

Informar sobre los efectos secundarios esperados (ej., tos con lisinopril, edema con amlodipino) y cuándo buscar ayuda médica (angioedema, mareos severos).

Enfatizar la importancia de los cambios en el estilo de vida:

Dieta DASH (baja en sodio, rica en frutas y verduras), ejercicio regular, mantenimiento de un peso saludable, y limitación del consumo de alcohol (aunque no aplica directamente a este paciente).

Enseñar al paciente cómo realizar mediciones de presión arterial en casa y registrar los resultados para su médico.

Detección y Manejo de Interacciones:

Evaluar la lista completa de medicamentos del paciente (incluyendo OTC, suplementos) para identificar posibles interacciones con

lisinopril, amlodipino, metformina y atorvastatina. Por ejemplo, advertir sobre el uso de AINEs.

Revisar activamente los resultados de laboratorio (función renal, potasio) para asegurar la seguridad y efectividad del tratamiento y hacer recomendaciones al médico si es necesario (ej., ajustar dosis de lisinopril si la función renal disminuye).

Ofrecer estrategias prácticas para recordar la toma de medicamentos, como el uso de pastilleros, alarmas en el teléfono, o asociar la toma con una rutina diaria.

Consejos Prácticos:

Si la presión arterial no se controla con dosis óptimas de lisinopril y amlodipino, considerar una combinación de dosis fija para simplificar el régimen y mejorar la adherencia.

Animar y capacitar al paciente para que se tome la presión arterial en casa con un tensiómetro validado. Esto proporciona datos valiosos para el ajuste del tratamiento y empodera al paciente. Si el edema por amlodipino es molesto, sugerir elevación de las piernas, medias de compresión o discutir con el médico la adición de un IECA/ARA II (que ya se está usando) o, en casos extremos, un diurético (con cuidado en este paciente) o un cambio de medicamento.

6. Claves de aprendizaje

- La hipertensión esencial del adulto mayor rara vez se presenta aislada: las comorbilidades condicionan tanto la elección del fármaco como su seguimiento.

- Conocer el mecanismo de cada antihipertensivo permite anticipar sus efectos adversos y explicarlos al paciente en lugar de limitarse a advertirlos.
- La adherencia es parte del resultado terapéutico: un tratamiento correcto que no se cumple no controla la presión arterial.

4.5 Resumen

El corazón es el órgano central del sistema cardiovascular y cumple la función vital de bombear la sangre de manera continua, asegurando el transporte de oxígeno, nutrientes y hormonas hacia los tejidos, así como la eliminación de dióxido de carbono y productos de desecho. Su actividad permite mantener la homeostasis y el funcionamiento integral del organismo. La relevancia clínica del corazón es significativa, ya que las enfermedades cardiovasculares constituyen una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial.

Anatómicamente, el corazón se localiza en la cavidad torácica, detrás del esternón y entre ambos pulmones, apoyado sobre el diafragma y protegido por el pericardio. Presenta forma de cono invertido, con el ápex orientado hacia la izquierda. En su base se insertan los grandes vasos: venas cavas y pulmonares (que llevan sangre al corazón), y la arteria pulmonar y la aorta (que la distribuyen hacia los pulmones y el resto del cuerpo). Su peso varía según el sexo y las características corporales del individuo.

Desde el punto de vista morfológico interno, el corazón está dividido en cuatro cavidades: dos aurículas y dos ventrículos, separados por tabiques que impiden la mezcla de sangre oxigenada y desoxigenada en condiciones normales. El lado derecho maneja sangre venosa y la envía

a los pulmones para su oxigenación, mientras que el lado izquierdo recibe sangre oxigenada y la impulsa hacia la circulación sistémica. El funcionamiento coordinado de las válvulas cardíacas garantiza el flujo unidireccional de la sangre y la eficiencia del ciclo cardíaco.

La organización de los vasos sanguíneos constituye un sistema de transporte especializado donde las arterias, caracterizadas por sus paredes gruesas y lumen estrecho, conducen la sangre desde el corazón hacia los tejidos bajo altas presiones. Esta red se ramifica progresivamente en arterias de conducción, que mantienen el flujo continuo mediante su elasticidad; de distribución, que regulan el riego a sistemas específicos mediante musculatura lisa; y arteriolas, cuya contracción actúa como un esfínter determinante para la presión arterial sistémica. Al alcanzar el nivel microscópico, los capilares actúan como el sitio principal de perfusión e intercambio de gases y nutrientes, variando su permeabilidad en configuraciones continuas, fenestradas o sinusoidales según las demandas metabólicas y la arquitectura del tejido circundante.

Por otro lado, las venas operan como conductos de retorno y reservorios de volumen sanguíneo, poseyendo paredes más delgadas y distensibles que las arterias, e integrando válvulas que aseguran el flujo unidireccional hacia el corazón. Este sistema se organiza en una red de vénulas, venas profundas y superficiales, interconectadas por vasos perforantes que optimizan el retorno venoso apoyados por la compresión de la musculatura esquelética periférica. El conocimiento de la histología vascular, organizada en las túnicas íntima, media y externa, resulta esencial para comprender la dinámica hemodinámica y la

capacidad del sistema circulatorio para adaptarse a las variaciones fisiológicas y presiones del organismo.

Este capítulo analiza la anatomía y fisiología del sistema vascular, describiendo detalladamente los procesos de transporte arterial, la microcirculación capilar y la mecánica del retorno venoso. Mediante un enfoque que integra la estructura histológica con la función hemodinámica, se ofrece una visión completa de cómo la red de vasos sanguíneos mantiene la homeostasis y responde a las necesidades sistémicas de perfusión. Esta perspectiva comparativa entre los diferentes tipos de vasos facilita la comprensión de los mecanismos adaptativos del sistema circulatorio y sus implicaciones fundamentales en el manejo clínico de patologías vasculares.

La función circulatoria se basa en tres principios fundamentales: el flujo sanguíneo se regula según las necesidades metabólicas de cada tejido, el gasto cardíaco corresponde a la suma de los flujos locales y la presión arterial se controla mediante mecanismos nerviosos, hormonales y renales relativamente independientes. La microcirculación ajusta el diámetro de los vasos para asegurar un aporte adecuado de oxígeno y nutrientes, mientras que el corazón adapta su bombeo al retorno venoso y a las demandas del organismo.

En cuanto a la distribución del flujo, las arterias transportan sangre a alta presión, las arteriolas regulan su entrada a los capilares, los capilares permiten el intercambio de sustancias y las venas actúan como conductos de retorno y reservorios sanguíneos.

La presión disminuye progresivamente desde la aorta (aproximadamente 120/80 mmHg) hasta las venas cavas, donde se

aproxima a 0 mmHg. En la circulación pulmonar las presiones son considerablemente menores, lo que facilita el intercambio gaseoso sin dañar los capilares pulmonares. Estos mecanismos garantizan una perfusión adecuada y el mantenimiento de la homeostasis.

4.6 Preguntas de repaso

Opción múltiple

1. La disposición de las válvulas cardíacas garantiza:

A. La mezcla controlada de sangre oxigenada y desoxigenada.

B. El flujo unidireccional de la sangre durante el ciclo cardíaco.

C. La contracción simultánea de aurículas y ventrículos.

D. La irrigación del propio músculo cardíaco.

2. Las arteriolas se comportan como esfínteres de la circulación porque:

A. Almacenan un volumen de sangre durante la diástole.

B. Carecen por completo de musculatura lisa.

C. Su contracción regula la resistencia y el riego de cada territorio.

D. Constituyen el sitio principal de intercambio de gases.

3. El intercambio de gases y nutrientes con los tejidos ocurre fundamentalmente en:

A. Las arterias de conducción.

B. Las venas de gran calibre.

C. Las arteriolas de distribución.

D. Los capilares.

4. En un paciente con rigidez de las grandes arterias y pérdida de elastina, la consecuencia hemodinámica más probable es:

A. La pérdida de la capacidad de amortiguar el pulso y sostener un flujo continuo.

B. Un aumento de la distensibilidad arterial.

C. La desaparición de la presión sistólica.

D. La inversión del sentido del flujo sanguíneo.

5. La diferencia funcional entre el lado derecho y el izquierdo del corazón consiste en que:

A. El derecho recibe sangre oxigenada procedente de las venas pulmonares.

B. El derecho impulsa sangre desoxigenada hacia los pulmones y el izquierdo, sangre oxigenada hacia la circulación sistémica.

C. Ambos lados bombean su contenido hacia la aorta.

D. El izquierdo carece de válvulas que regulen el flujo.

Preguntas abiertas y de aplicación

6. Describa el trayecto de la sangre a través de las cuatro cavidades cardíacas, indicando las válvulas y los grandes vasos que intervienen en cada paso.

7. Compare arterias, capilares y venas en cuanto al grosor de su pared, el diámetro de su lumen, la presión que soportan y la función que desempeñan.

8. Explique por qué la pared de las arterias de conducción es rica en elastina y de qué modo esa característica permite mantener un flujo continuo pese a que el bombeo cardíaco sea pulsátil.

9. Relacione la disposición del pericardio y la localización del corazón en la cavidad torácica con su protección y con su capacidad de contraerse sin fricción.

Reflexión e integración

10. Argumente por qué las enfermedades cardiovasculares figuran entre las principales causas de mortalidad, integrando la función de transporte de la sangre y las consecuencias de su interrupción sobre los tejidos.

11. Analice cómo la vasoconstricción y la vasodilatación permiten redistribuir el flujo sanguíneo sin modificar el volumen total de sangre, y qué utilidad tiene ese principio para comprender la acción de un fármaco vasoactivo.

12. Integre estructura y función explicando por qué los tabiques interauricular e interventricular resultan indispensables, y qué consecuencias fisiológicas tendría que uno de ellos permaneciera abierto tras el nacimiento.

CAPÍTULO V

5. SANGRE Y HEMATOPOYESIS

5.1 Sangre: funciones y células sanguíneas

La homeostasis constituye el principio fundamental que permite la estabilidad del medio interno del organismo frente a las variaciones del entorno externo e interno. Este equilibrio dinámico se mantiene mediante la interacción coordinada de los sistemas corporales, que regulan variables esenciales como la temperatura, el pH, el volumen sanguíneo, la presión arterial y la concentración de nutrientes y electrolitos (Guyton & Hall, 2021). En este contexto, la sangre desempeña un papel central como medio de transporte y regulación, participando activamente en los mecanismos que sostienen la vida.

La sangre es un tejido conectivo especializado compuesto por plasma y elementos formes eritrocitos, leucocitos y plaquetas, cuya función trasciende el simple transporte de oxígeno y dióxido de carbono. Además de distribuir nutrientes y hormonas, interviene en la defensa inmunológica, en la coagulación y en la regulación térmica, contribuyendo de manera directa al mantenimiento de la homeostasis (Tortora & Derrickson, 2018). La producción continua de células sanguíneas en la médula ósea y su regulación precisa evidencian la importancia de este tejido en la adaptación fisiológica del organismo.

En este capítulo se aborda la relación entre sangre y homeostasis, describiendo su composición, funciones y el papel de las células sanguíneas en la regulación del equilibrio corporal. Se analizan los mecanismos mediante los cuales la sangre contribuye al control térmico,

al transporte de sustancias vitales y a la protección frente a agentes patógenos, consolidando su relevancia dentro de la fisiología humana.

5.1.1 Sangre

La sangre es tejido vivo formado por líquidos y sólidos. La parte líquida, llamada plasma, contiene agua, sales y proteínas. Más de la mitad del cuerpo es plasma. La parte sólida de la sangre contiene glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas.

Los análisis de sangre como las pruebas de conteo sanguíneo ayudan a los médicos a analizar ciertas enfermedades y afecciones. También ayudan a comprobar la función de los órganos y muestran qué tan bien están funcionando los tratamientos.

Hay cuatro grupos de sangre: A, B, AB y O. Asimismo, la sangre es Rh positivo o Rh negativo. Así, si su tipo de sangre es A, es A positivo o A negativo. Su tipo de sangre es importante si necesita una transfusión de sangre. Y su factor de sangre puede ser importante si usted queda embarazada, ya que la incompatibilidad entre su tipo de sangre y el de su bebé puede crear problemas.

5.1.1.1 Función

La sangre transporta oxígeno de los pulmones y nutrientes del aparato digestivo a las células del organismo. También se lleva el dióxido de carbono y todos los productos de desecho que el organismo no necesita. (Los riñones filtran y limpian la sangre.)

Además:

- Ayuda a mantener el cuerpo a la temperatura correcta.
- Transporta hormonas a las células del organismo.

- Envía anticuerpos para combatir las infecciones.
- Contiene factores de coagulación para favorecer la coagulación de la sangre y la cicatrización de los tejidos del cuerpo.

5.1.2 Células sanguíneas

Los glóbulos rojos se forman en la médula ósea roja de los huesos, Su función es transportar oxígeno a los tejidos corporales e intercambiarlo por dióxido de carbono, el cual es transportado y eliminado por los pulmones. Las células madre de la médula ósea roja, llamadas hemocitoblastos, dan lugar a todos los elementos formados en la sangre. La formación de un glóbulo rojo a partir de un hemocitoblasto toma alrededor de dos días. El cuerpo produce unos dos millones de glóbulos rojos cada segundo. (Figura 5.1)

Los glóbulos blancos se producen en la médula ósea y se encuentra en la sangre y el tejido linfático, combaten las infecciones y son parte del sistema inmunitario del cuerpo. Los tipos de glóbulos blancos son los granulocitos (neutrófilos, eosinófilos y basófilos), los monocitos y los linfocitos (células T y células B).

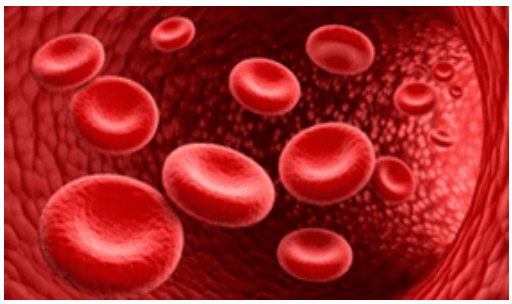


Figura 47. Sangre de glóbulos rojos.

Fuente: de 123RF, C. (s/f).

Las plaquetas son fragmentos de células muy grandes de la médula ósea que se llaman megacariocitos. Ayudan a producir coágulos sanguíneos para hacer más lento el sangrado o frenarlo y para facilitar la cicatrización de las heridas. Medir la cantidad de plaquetas en la sangre a veces ayuda a diagnosticar ciertas enfermedades o trastornos. También se llama trombocito (Figura 48).

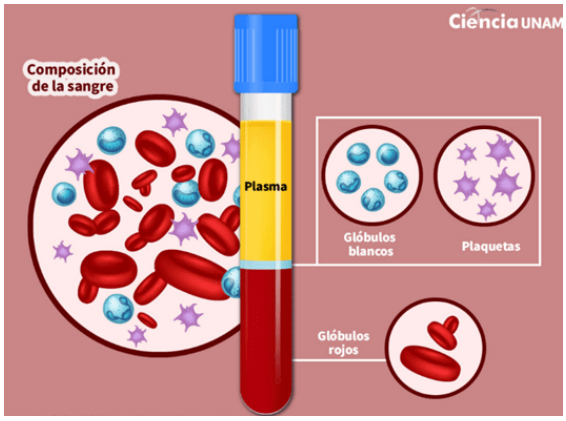


Figura 48. Componentes de la Sangre.

Fuente: Cordova, Flores, García & Salvador (2022).

5.1.2.1 Homeostasis

La Homeostasis es el estado de equilibrio entre todos los sistemas del cuerpo necesarios para sobrevivir y funcionar de forma adecuada.

La sangre absorbe y distribuye el calor por todo el cuerpo. Ayuda a mantener la homeostasis por medio de la liberación o conservación del calor. Los vasos sanguíneos se expanden y se contraen cuando reaccionan a organismos del exterior, como las bacterias, y a cambios internos hormonales y químicos. Estas acciones desplazan la sangre y el calor más cerca o más lejos de la superficie cutánea, donde se pierde el calor.

5.2 Resumen

La sangre constituye un tejido vivo fundamental compuesto por una fase líquida denominada plasma, que representa más de la mitad del volumen corporal, y una fase sólida integrada por elementos formes. El plasma, rico en agua, sales y proteínas, sirve como medio de transporte para nutrientes, hormonas y anticuerpos, mientras que los componentes sólidos ejecutan funciones especializadas de intercambio gaseoso, defensa inmunológica y reparación tisular. Este sistema no solo abastece de oxígeno a las células y elimina desechos metabólicos como el dióxido de carbono, sino que también actúa como un regulador térmico y un mecanismo de defensa activa contra infecciones mediante el envío de anticuerpos y células especializadas a los sitios de lesión o invasión.

La sangre desempeña un papel central en el mantenimiento de la homeostasis, el estado de equilibrio necesario para la supervivencia orgánica, mediante la distribución y liberación de calor a través de la expansión y contracción de los vasos sanguíneos en respuesta a estímulos químicos y hormonales. Este mecanismo permite desplazar el calor hacia la superficie cutánea o conservarlo en el núcleo corporal según las necesidades térmicas del organismo. Además, el filtrado continúo realizado por los riñones asegura que el tejido hemático se mantenga libre de productos de desecho, garantizando un entorno interno estable. Este capítulo aborda la fisiología y composición de la sangre, describiendo los procesos clave de la hematopoyesis, las funciones de los elementos formes y la importancia de los grupos sanguíneos en la práctica clínica. A través de un enfoque integrador, se exploran los mecanismos de transporte, defensa y coagulación, así como

el papel de la sangre en la regulación térmica y la homeostasis sistémica, proporcionando una base comprensiva para entender las afecciones hematológicas y las estrategias diagnósticas actuales.

5.3 Preguntas de repaso

Opción múltiple

1. El plasma sanguíneo se caracteriza por:

A. Constituir la fracción sólida de la sangre.

B. Carecer de proteínas en su composición.

C. Ser la fase líquida, rica en agua, sales y proteínas, que transporta nutrientes, hormonas y anticuerpos.

D. Estar formado por eritrocitos y plaquetas.

2. La célula precursora de la que derivan los elementos formes de la sangre es:

A. El megacariocito.

B. El monocito.

C. El granulocito.

D. El hemocitoblasto.

3. Las plaquetas se originan directamente a partir de:

A. El megacariocito.

B. El linfocito.

C. El eritrocito maduro.

D. El macrófago tisular.

4. La sangre participa en la regulación térmica del organismo mediante:

A. La producción de calor por parte de los eritrocitos.

B. La expansión y contracción de los vasos, que desplaza el calor hacia la piel o lo conserva en el núcleo corporal.

C. El filtrado renal de los productos de desecho.

D. La liberación de anticuerpos en los sitios de lesión.

5. En el adulto, el principal lugar de producción de las células sanguíneas es:

A. El bazo.

B. El hígado.

C. La médula ósea roja.

D. El timo.

Preguntas abiertas y de aplicación

6. Describa la composición de la sangre distinguiendo su fase líquida de su fase celular, e indique la función principal de cada componente.

7. Compare las funciones de los glóbulos rojos, los glóbulos blancos y las plaquetas, relacionando cada una con la característica estructural que la hace posible.

8. Explique el proceso de hematopoyesis a partir del hemocitoblasto y justifique por qué la médula ósea constituye un tejido crítico para el organismo.

9. Relacione la importancia de los grupos sanguíneos con la práctica transfusional y explique por qué su determinación es un requisito previo ineludible.

Reflexión e integración

10. Argumente por qué la sangre puede describirse como un tejido pese a su estado líquido, integrando su origen, su composición celular y las funciones que desempeña.

11. Analice de qué modo la sangre articula el trabajo de varios sistemas —respiratorio, renal, inmunitario y endocrino— en el mantenimiento de la homeostasis.

12. Desde la perspectiva del análisis clínico, justifique qué información aporta el estudio de los elementos formes sobre el estado funcional del organismo y por qué constituye una de las determinaciones de laboratorio más solicitadas.

CAPÍTULO VI

6. SISTEMA LINFÁTICO E INMUNIDAD

6.1 Anatomía del sistema linfático

El sistema linfático es una parte fundamental del sistema inmunológico del cuerpo humano. Está formado por una red de vasos y ganglios que recogen y filtran el exceso de líquido tisular denominado linfa antes de devolverlo a la circulación venosa. La linfa circula por conductos llamados vasos linfáticos y atraviesa diversas estructuras y órganos constituidos por tejido linfático, como el bazo, el timo y la médula ósea. **(Gerard J. Tortora, 2019)** Este sistema recolecta los líquidos extravasados de los vasos sanguíneos en el espacio intersticial y los retorna a la sangre a nivel de la confluencia de las venas yugular interna y subclavia, en ambos lados del cuerpo. A lo largo del trayecto de los vasos linfáticos se encuentran estructuras encapsuladas de linfocitos llamadas linfonodos, que actúan como filtros de la linfa y desempeñan un papel clave en la respuesta inmunitaria.

6.1.1 Generalidades del sistema linfático

El sistema linfático está encargado de recolectar y transportar la linfa, un fluido que se forma en el intersticio de los tejidos, hacia el sistema venoso. **(Gerard J. Tortora, 2019)** Esta linfa contiene glóbulos blancos (principalmente linfocitos), proteínas, lípidos (en especial tras la digestión, en forma de quilo) y vitaminas liposolubles.

Este sistema se compone de una red de vasos linfáticos de distinto calibre, interconectados con diversos órganos. Se relaciona íntimamente con el sistema circulatorio, especialmente con la circulación venosa, y

cumple funciones clave en la defensa inmunológica y el mantenimiento del equilibrio de líquidos corporales.

6.1.2 Organización general del sistema linfático

Integran el sistema linfático los ganglios y los vasos linfáticos —una red de conductos finos por los que circulan la linfa y los leucocitos—, junto con la médula ósea, el bazo, el timo, las amígdalas y las adenoides, además del tejido linfático asociado al intestino delgado y a otras localizaciones del organismo. Su función principal es recoger el líquido intersticial (linfa), filtrarlo y devolverlo a la circulación sanguínea, además de desempeñar un rol crucial en la defensa inmunitaria. **(Bujoreanu, 2023)** (Figura 49).

Esquema general del sistema linfático humano, incluyendo vasos, ganglios, timo, bazo y médula ósea:

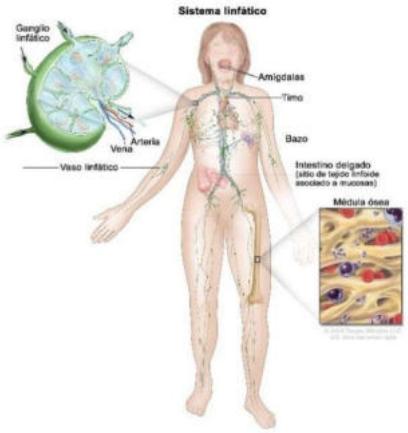


Figura 49. Sistema Linfático.

Fuente: Instituto nacional del cáncer (2011).

Componentes anatómicos del sistema linfático capilares linfáticos y vasos linfáticos.

Los capilares linfáticos, también llamados linfáticos iniciales, están presentes en la mayoría de los tejidos del cuerpo, acompañando a los capilares venosos. Sin embargo, están ausentes en estructuras como el sistema nervioso central, cartílago, huesos, médula ósea, placenta y globo ocular.

Estos capilares poseen una pared delgada y son altamente permeables, lo que les permite absorber líquidos, proteínas y otras sustancias desde el espacio intersticial. Se fusionan para formar vasos linfáticos aferentes, que conducen la linfa hacia los linfonodos. A diferencia de las venas, estos vasos pueden discurrir en paralelo y no siguen trayectorias estrictamente definidas (Tortora, 2019)

Dentro del linfonodo, la linfa se filtra y luego continúa su recorrido a través de los vasos linfáticos eferentes, de calibre mayor y en menor cantidad, que usualmente se dirigen hacia otro linfonodo en una cadena (Figura 50)

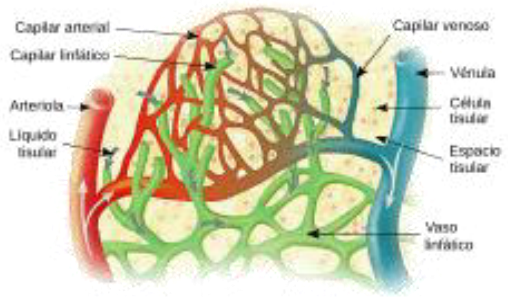


Figura 50. Capilares y vasos linfáticos.

Fuente: Tortora (2019).

Linfonodos (ganglios linfáticos)

Los ganglios linfáticos tienen forma ovalada o redondeada (a veces descrita como forma de riñón), y actúan como estaciones de filtración de la linfa. Están revestidos por una cápsula de tejido conjuntivo y pueden ser superficiales (en el tejido celular subcutáneo) o profundos (en cavidades torácicas o abdominales) (Tortora, 2019)

Cada ganglio recibe la linfa por varios **vasos** aferentes que penetran su superficie convexa, y la linfa filtrada sale por uno o dos vasos eferentes ubicados en el hilio, una depresión por donde también entran arterias y salen venas.

En su interior, el ganglio posee folículos linfáticos, zonas donde se concentra el tejido linfoide. La linfa fluye a través del seno subcapsular y se filtra progresivamente en los senos trabeculares y medulares, enriqueciendo la linfa con linfocitos.

Los ganglios tienen también una vénula endotelial alta (VEH), especializada en permitir la migración de linfocitos T y B desde la sangre hacia el interior del ganglio gracias a receptores específicos (Figura 51).

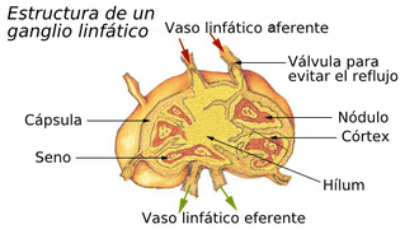


Figura 51. Estructura de un Ganglio Linfático.

Fuente: Torres (2023).

Tamaño y características

Los ganglios linfáticos miden habitualmente entre 1 y 2 cm y están rodeados de tejido adiposo. Su tamaño normal varía según la región corporal, pero en general, un eje longitudinal mayor a 1 cm, pérdida de la forma ovalada, engrosamiento cortical o desaparición de la grasa hiliar se consideran indicativos de una posible patología.

6.1.3 Circulación de la linfa en el linfonodo

La linfa ingresa al linfonodo a través de los vasos aferentes y fluye por:

- Seno subcapsular
- Senos trabeculares
- Senos medulares

Durante este recorrido, la linfa es filtrada: se retienen partículas extrañas y se activa la respuesta inmunitaria gracias a la alta concentración de linfocitos y macrófagos. Los linfocitos se organizan en folículos linfáticos, especialmente en la corteza del linfonodo. Así, la linfa que sale por el vaso eferente contiene una cantidad mayor de células inmunitarias (Hall, 2021)

Órganos linfáticos

Órganos Linfáticos Primarios: también denominados órganos linfoides/linfáticos centrales, son los tejidos responsables de la producción de células linfoides a partir de células progenitoras, incluyendo la médula ósea y el timo. Su función es la de producir y regular la producción y diferenciación de los distintos linfocitos (Hall, 2021)

Médula ósea

La médula ósea es un componente clave del sistema linfático, ya que es el sitio de producción de las células sanguíneas, incluyendo los linfocitos, que son fundamentales para la respuesta inmunitaria. También se considera un órgano linfático primario, junto con el timo, donde se desarrollan los linfocitos (Figura 52).

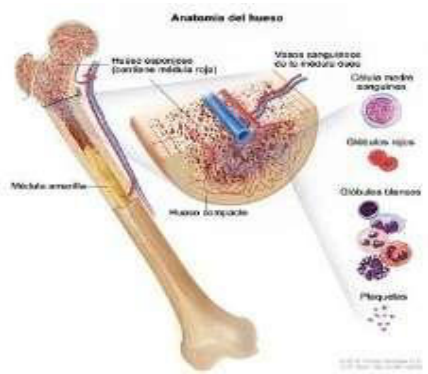


Figura 52. Médula ósea.

Fuente:Instituto nacional del cáncer (2023).

Timo

Es un órgano primario del sistema linfático ubicado en el mediastino. Está formado por dos lóbulos conectados mediante un istmo. Histológicamente, el timo se divide en dos lóbulos, cada uno consistente en una médula central y una corteza periférica. El timo es un componente esencial de nuestro sistema inmune. Funciona como el sitio inicial de maduración de linfocitos T a través de procesos de selección positivos y negativos. **(Torres, 2023)** (Figura 53)

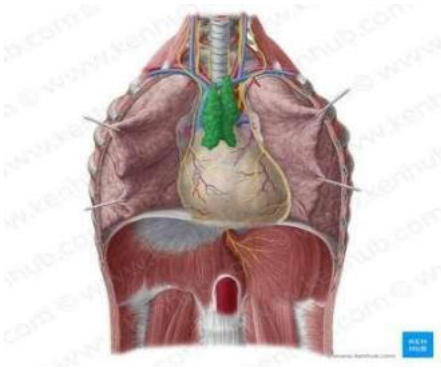


Figura 53. Timo.

Fuente: Torres (2023).

Órganos linfáticos secundarios

Los órganos linfáticos secundarios son aquellos donde se lleva a cabo la respuesta inmune adaptativa. Incluyen los ganglios linfáticos, el bazo y el tejido linfoide asociado a las mucosas (MALT). Estos órganos son fundamentales para la respuesta inmune, ya que es donde los linfocitos T y B se encuentran con antígenos, se activan, proliferan y se diferencian en células efectoras y de memoria **(Stanley Oiseth, 2025)**.

Bazo

Es un órgano que forma parte de los sistemas linfático y sanguíneo. El bazo filtra la sangre para eliminar los glóbulos rojos viejos o dañados. También produce linfocitos (glóbulos blancos) y almacenas células sanguíneas. Está localizado en el lado superior izquierdo del abdomen, debajo de las costillas y encima del estómago. Su principal función es filtrar la sangre y eliminar células sanguíneas viejas o dañadas, así como producir linfocitos (glóbulos blancos) que ayudan a combatir infecciones. **(Instituto nacional del cáncer, 2023)** (Figura 54)

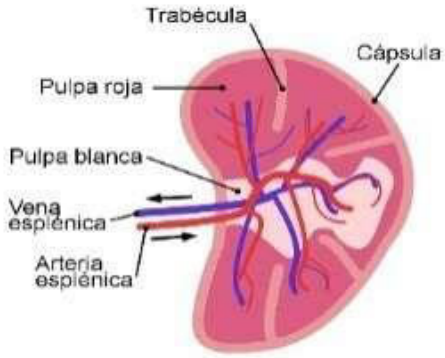


Figura 54. Bazo.

Fuente: Tortora (2019).

Tejido linfoide asociado a mucosas (MALT)

El tejido linfoide asociado a mucosas (MALT) es un tejido inmunitario especializado que se encuentra en las mucosas del cuerpo, como el tracto digestivo y respiratorio, y que protege contra infecciones. Es un tejido difuso y no encapsulado, que contiene linfocitos y otras células inmunitarias. El MALT desempeña un papel crucial en la respuesta inmunitaria local en las superficies mucosas

Distribución anatómica

El sistema linfático está distribuido por casi todo el cuerpo, salvo algunas excepciones como el sistema nervioso central (donde recientemente se han identificado vasos linfáticos meníngeos), el cartílago, la córnea, los huesos y la médula ósea.

Su distribución responde a la necesidad de vigilancia inmunológica y drenaje de líquido intersticial. La linfa de la parte superior derecha del cuerpo drena en el conducto linfático derecho, mientras que el resto del

cuerpo lo hace en el conducto torácico, que es mucho más largo y voluminoso (Tortora, 2019)

Los vasos linfáticos del intestino delgado, llamados **vasos** quilíferos, tienen una función especializada en la absorción de grasas. Estos transportan los lípidos en forma de quilomicrones, dando lugar a una linfa de color blanco lechoso, conocida como quilo.

Fisiología del sistema linfático

El sistema linfático constituye un componente esencial en la regulación del equilibrio interno y en la defensa inmunológica del organismo. Su función principal es recolectar el exceso de líquido intersticial, transformarlo en linfa y devolverlo al torrente sanguíneo, evitando así la acumulación de líquidos en los tejidos y contribuyendo al mantenimiento de la homeostasis (Guyton & Hall, 2021).

Además, desempeña un papel fundamental en la vigilancia inmunitaria, al transportar y filtrar antígenos, activar linfocitos y facilitar la respuesta específica frente a agentes patógenos.

Desde el punto de vista anatómico y funcional, el sistema linfático está integrado por vasos linfáticos, ganglios linfáticos y órganos linfoides como el timo, la médula ósea, el bazo y el tejido linfoide asociado a mucosas (MALT). Estos componentes actúan de manera coordinada no solo en la producción y maduración de células inmunitarias, sino también en la absorción y transporte de lípidos desde el intestino hacia la circulación sistémica (Tortora & Derrickson, 2018; Saladin, 2018).

La comprensión de la fisiología del sistema linfático resulta fundamental para interpretar procesos como el edema, la respuesta inflamatoria, la

inmunidad adaptativa y la diseminación de enfermedades. En este capítulo se analizan su organización anatómica, sus órganos principales y los mecanismos fisiológicos que sustentan el drenaje linfático, el transporte de grasas y la respuesta inmunitaria, consolidando su relevancia dentro de la fisiología humana.

El sistema linfático es una parte esencial del sistema inmunitario y del mantenimiento del equilibrio de líquidos en el organismo. Su función principal es la recolección y transporte de la linfa, un líquido que contiene células inmunitarias y productos de desecho, desde los tejidos hacia el torrente sanguíneo, además de participar en la defensa contra infecciones y en la absorción de grasas en el intestino. Comprender la fisiología del sistema linfático es fundamental para entender cómo el cuerpo mantiene su homeostasis y responde a agresiones externas (Guyton, 2021)

6.1.4 Anatomía general del sistema linfático

El sistema linfático se organiza en dos componentes principales:

Vasos linfáticos

Los vasos linfáticos son conductos del sistema linfático que transportan la linfa, un líquido transparente rico en linfocitos y pobre en proteínas, que se forma a partir del líquido intersticial que rodea las células del cuerpo. Su función principal es recoger este líquido desde los tejidos y devolverlo al sistema venoso, manteniendo así el equilibrio de líquidos en el organismo y participando en la respuesta inmunitaria.

Estos vasos comienzan en los tejidos como capilares linfáticos, estructuras de pared delgada con alta permeabilidad que permiten la

entrada de líquidos, proteínas grandes, lípidos y células inmunitarias. A medida que se reúnen, forman vasos linfáticos mayores que poseen válvulas en su interior para asegurar el flujo unidireccional de la linfa hacia el corazón. Los vasos linfáticos drenan en ganglios linfáticos distribuidos a lo largo de su trayecto, donde se filtra la linfa y se activan respuestas inmunológicas si se detectan patógенos. **(Tortora, 2020)** (Figura 55).

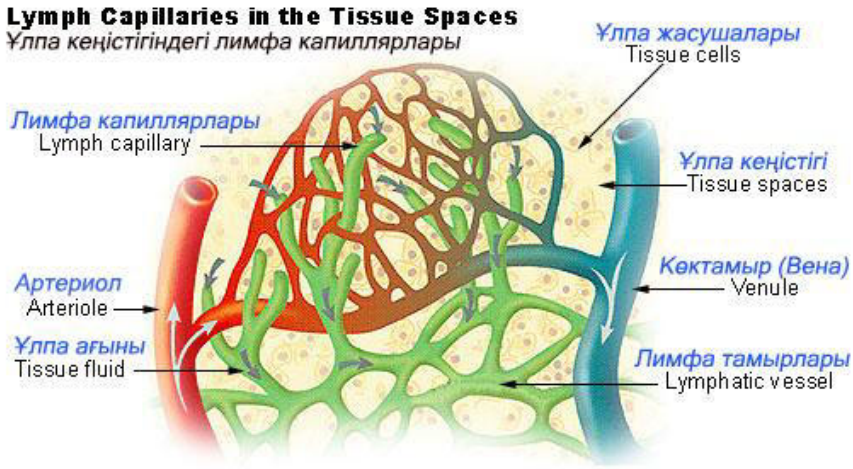


Figura 55. Vasos linfáticos.

Fuente: (Wikimedia, s.f.).

Estos vasos desembocan finalmente en los conductos linfáticos principales:

Conducto torácico (drena el 75% del cuerpo).

Conducto linfático derecho (drena la parte superior derecha del cuerpo)

Linfa

Es un fluido transparente o ligeramente amarillento, compuesto por agua, proteínas, lípidos, linfocitos y, ocasionalmente, microorganismos.

Se forma por filtración de plasma a través de las paredes capilares hacia los tejidos (Saladin, 2018)

La linfa se mueve lentamente, impulsada por contracciones musculares y válvulas que evitan el reflujo.

Ganglios linfáticos

Los ganglios linfáticos se distribuyen con mayor densidad alrededor de la faringe, el cuello, el tórax, las axilas, las ingles y los intestinos. Los vasos linfáticos aferentes y eferentes también se concentran en mayor medida en estas zonas, de modo que pueden filtrar el líquido linfático cerca del final del sistema linfático, donde el líquido retorna al sistema cardiovascular.

Por el contrario, no se encuentran ganglios linfáticos en las zonas del sistema nervioso central superior, donde el tejido drena hacia el líquido cefalorraquídeo en lugar de hacia la linfa, aunque sí hay algunos vasos linfáticos en las meninges. Hay pocos ganglios linfáticos en los extremos de las extremidades. Los vasos linfáticos eferentes del lado izquierdo e inferior del cuerpo drenan hacia la vena subclavia izquierda a través del conducto torácico, mientras que los vasos linfáticos eferentes del lado derecho del cuerpo drenan hacia la vena subclavia derecha a través del conducto linfático derecho.

6.1.5 Órganos linfáticos

Timo

El timo es una pequeña glándula inmune y endocrina que está ubicada entre el corazón y el esternón, debajo de la glándula tiroides. En ella se lleva a cabo la producción, maduración y diferenciación de los linfocitos

T, que son células del sistema inmune indispensables para combatir diferentes antígenos extraños que puedan invadir nuestro organismo.

Médula ósea

La médula ósea es un tejido altamente especializado situado en el interior de los huesos largos, planos y cortos. Es el lugar donde se producen las células sanguíneas, como glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas, a través de un proceso llamado hematopoyesis. De este tejido depende directamente la regulación de la salud y el equilibrio corporal (Marieb, 2019)

La médula ósea desempeña funciones esenciales en el organismo:

Producción de células sanguíneas: Genera glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas.

Regulación inmunológica: Produce células del sistema inmunitario, como linfocitos y células plasmáticas.

Almacenamiento de energía: La médula amarilla actúa como un reservorio de grasa.

Bazo

El bazo se encuentra en la parte superior izquierda del abdomen, debajo de la caja torácica. Ayuda a proteger al cuerpo, eliminando del torrente sanguíneo los glóbulos rojos viejos y otras sustancias extrañas (como los gérmenes).

El bazo se integra en el sistema linfático, una amplia red de drenaje cuyas funciones son mantener el equilibrio de los líquidos corporales y participar en la defensa frente a las infecciones. Está compuesto por una

red de vasos linfáticos que transportan linfa (un líquido transparente y acuoso que contiene proteínas, sales, glucosa y otras sustancias) por todo el cuerpo (Tortora, 2018) **(Tortora, 2020)**

Amígdalas y MALT

Las amígdalas y el MALT (tejido linfoide asociado a mucosas) son estructuras del sistema inmunológico que protegen al organismo en las zonas de entrada de patógenos, como la boca, nariz, vías respiratorias, digestivas y genitourinarias. Las amígdalas forman parte del anillo de Waldeyer y están ubicadas en la faringe, donde detectan microorganismos, activan linfocitos y producen anticuerpos. Por su parte, el MALT está distribuido en las mucosas del cuerpo (como el GALT en el intestino y el BALT en los bronquios) y actúa como una primera línea de defensa inmunológica adaptativa. Ambos trabajan interceptando antígenos, activando células inmunes y generando memoria inmunológica para prevenir infecciones futuras (Figura 56).

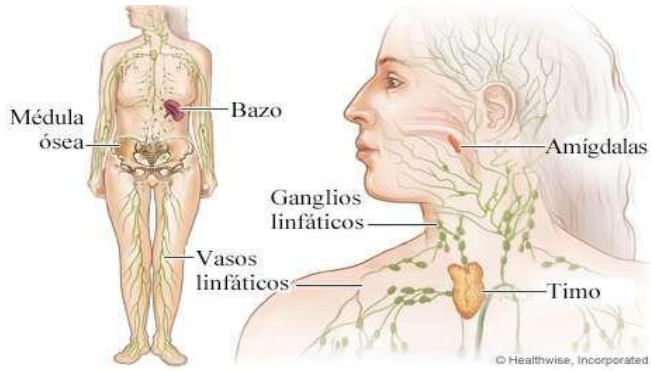


Figura 56. Sistema Linfático.

Fuente: Sistema linfático. (s/f).

6.1.6 Fisiología del sistema linfático

Drenaje del líquido intersticial

Aproximadamente 20 litros de plasma escapan de los capilares cada día; 17 litros son reabsorbidos y 3 litros entran al sistema linfático. Este drenaje previene la acumulación de líquido (edema) en los tejidos.

Transporte de grasas

Los quilomicrones (lípidos absorbidos en el intestino) ingresan a los capilares linfáticos especializados llamados vasos quilíferos y desde allí, viajan por la linfa hasta el conducto torácico y finalmente a la circulación sanguínea (Saladin, 2018)

Respuesta inmunitaria

La linfa contiene antígenos que son detectados en los ganglios linfáticos.

Los linfocitos B y T son activados y proliferan.

Se generan respuestas inmunes específicas, produciendo anticuerpos o destruyendo células infectadas.

Circulación linfática

La circulación linfática es un sistema que recoge el exceso de líquido intersticial (linfa) de los tejidos y lo devuelve a la sangre, ayudando a mantener el equilibrio de líquidos en el cuerpo. Está formado por vasos linfáticos que transportan la linfa hacia los ganglios linfáticos, donde se filtra y se eliminan bacterias y desechos.

La linfa luego regresa a la circulación sanguínea a través de los conductos linfáticos, principalmente el conducto torácico y el conducto linfático derecho. Este sistema también participa en la defensa

inmunológica y en la absorción de grasas. El movimiento de la linfa depende de la contracción muscular y las válvulas que impiden su retroceso (Guyton, 2021)

Sistema inmune: inmunidad innata y adquirida

El sistema inmune constituye un conjunto altamente especializado de mecanismos celulares y moleculares orientados a preservar la integridad biológica del organismo frente a agentes infecciosos y alteraciones internas. Su funcionamiento se basa en la interacción dinámica entre la inmunidad innata, que actúa como primera línea de defensa rápida e inespecífica, y la inmunidad adquirida, caracterizada por su alta especificidad antigénica y capacidad de generar memoria inmunológica (Abbas, Lichtman & Pillai, 2022).

Desde una perspectiva fisiológica y farmacológica, el estudio integrado de ambas respuestas permite comprender los procesos de reconocimiento, activación y regulación inmunitaria, así como los mecanismos que sustentan la inflamación, la eliminación de patógenos y la tolerancia inmunológica. Asimismo, estos conocimientos constituyen el fundamento científico para el desarrollo de estrategias terapéuticas como la vacunación, la inmunomodulación y el tratamiento de enfermedades autoinmunes e inmunodeficiencias (Murphy & Weaver, 2016).

El presente capítulo aborda las bases celulares y moleculares del sistema inmune, diferenciando los componentes innatos y adaptativos, e integra sus principales aplicaciones clínicas, destacando la relevancia del equilibrio inmunológico en la práctica biomédica contemporánea.

El sistema inmune es una red compleja de órganos, células y moléculas que actúan de forma coordinada para proteger al organismo frente a agresiones externas como bacterias, virus, hongos y parásitos, así como frente a células alteradas propias, como las cancerígenas. Su funcionamiento implica mecanismos inmediatos e inespecíficos, denominados inmunidad innata, y respuestas más lentas pero específicas, conocidas como inmunidad adquirida. Comprender ambos tipos de inmunidad permite explicar cómo el cuerpo detecta, responde y recuerda a los agresores, constituyendo la base para el desarrollo de vacunas, terapias inmunológicas y el tratamiento de enfermedades autoinmunes.

6.1.7 Bases celulares y moleculares del sistema inmune

El sistema inmunológico se divide funcionalmente en dos componentes principales: la inmunidad innata, que representa la defensa inmediata, y la inmunidad adquirida, que se activa posteriormente y es altamente específica.

6.1.7.1 Inmunidad innata

La inmunidad innata es la primera línea de defensa del organismo. Se caracteriza por ser rápida, inespecífica y por no generar memoria inmunológica. Sus componentes incluyen barreras anatómicas como la piel y las mucosas, sustancias antimicrobianas como el lisozima o el pH ácido gástrico, y células especializadas como los neutrófilos, macrófagos, células dendríticas y células NK (natural killer). Estos elementos detectan estructuras conservadas de los patógenos, denominadas PAMPs (patrones moleculares asociados a patógenos), mediante receptores de reconocimiento como los TLR (receptores tipo

Toll). La activación de estos receptores inicia cascadas intracelulares que culminan en la producción de citoquinas proinflamatorias y moléculas coestimuladoras que preparan al sistema inmune para una respuesta adaptativa más eficaz. (Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. (2022).)

6.1.7.2 Inmunidad adquirida

La inmunidad adquirida, también llamada adaptativa, se activa cuando la respuesta innata no logra eliminar completamente al patógeno. Se caracteriza por su especificidad frente a antígenos concretos y por la generación de memoria inmunológica.

Esta rama involucra linfocitos T y B. Los linfocitos T reconocen antígenos presentados por moléculas del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC) en células presentadoras de antígeno. Existen subtipos como los linfocitos T citotóxicos ($CD8^+$) y T colaboradores ($CD4^+$). Por otro lado, los linfocitos B, tras activarse, se diferencian en células plasmáticas capaces de producir anticuerpos específicos que neutralizan directamente al antígeno. (Figura 57).

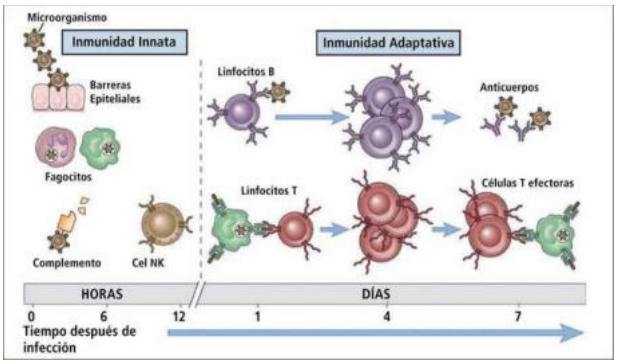


Figura 57. Sistema inmune y adaptativo.

Fuente: Toche, (2012).

6.1.8 Aplicaciones clínicas

6.1.8.1 Vacunación

El desarrollo de vacunas se basa en la estimulación controlada del sistema inmune adaptativo mediante la exposición a formas atenuadas o inactivadas del patógeno, o bien a sus componentes. Esta exposición provoca la formación de células de memoria que permiten una protección duradera frente a futuras infecciones.

6.1.8.2 Enfermedades autoinmunes

Cuando el sistema inmune pierde la capacidad de distinguir entre lo propio y lo ajeno, puede desencadenar una respuesta contra tejidos del propio organismo, como ocurre en enfermedades autoinmunes tales como el lupus eritematoso sistémico o la esclerosis múltiple. En estos casos, se emplean inmunosupresores para reducir la actividad inmunológica desregulada.

6.1.8.3 Inmunodeficiencias

Las deficiencias inmunológicas, ya sean congénitas (como el síndrome de DiGeorge) o adquiridas (como el VIH/SIDA), comprometen la capacidad del organismo para defenderse de infecciones oportunistas. El tratamiento puede incluir inmunoglobulinas intravenosas, profilaxis antimicrobiana y, en casos específicos, trasplante de médula ósea.

Consideraciones farmacológicas y fisiológicas

El conocimiento de los mecanismos inmunitarios ha permitido el desarrollo de múltiples agentes farmacológicos que modulan la actividad del sistema inmune. Los

inmunoestimulantes, como ciertas citoquinas (por ejemplo, la interleucina-2 o el interferón gamma), se emplean para reforzar la respuesta inmunitaria en infecciones graves y ciertos tipos de cáncer. Estos fármacos actúan estimulando la proliferación de linfocitos y la producción de moléculas efectoras. (Murphy y Weaver, 2016)

Por otro lado, los inmunosupresores se emplean en el tratamiento de enfermedades autoinmunes y la prevención del rechazo de órganos trasplantados. Entre ellos se encuentran los glucocorticoides, que suprimen la expresión de genes proinflamatorios; los inhibidores de la calcineurina, como la ciclosporina y el tacrolimus, que bloquean la activación de linfocitos T; y los inhibidores de mTOR, como el sirolimus, que detienen la proliferación celular. Desde una perspectiva fisiológica, estas intervenciones modifican la homeostasis inmunitaria, por lo que su uso debe estar cuidadosamente monitoreado para evitar efectos secundarios como infecciones oportunistas, trastornos metabólicos o toxicidad orgánica. El equilibrio entre eficacia terapéutica y seguridad es fundamental para optimizar el tratamiento inmunológico.

6.2 Bases bioquímicas y enfoque farmacéutico de la inmunidad

El estudio del sistema inmunológico desde una perspectiva bioquímica y farmacéutica permite comprender, con mayor profundidad, los mecanismos moleculares que regulan la activación, amplificación y control de la respuesta inmunitaria. La inmunidad no solo depende de la interacción entre células especializadas, sino también de complejas rutas de señalización intracelular, expresión génica y producción de mediadores como citocinas, quimiocinas y anticuerpos. El análisis de estos procesos constituye la base para el diseño racional de fármacos

inmunomoduladores y estrategias terapéuticas innovadoras (Quevedo & Joaquín, 2004).

En este contexto, la inmunidad innata y adaptativa se integran mediante eventos bioquímicos altamente regulados, como la activación de receptores tipo Toll (TLR), la señalización a través de NF-κB, la presentación antigénica por moléculas del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC) y la expansión clonal de linfocitos específicos. La comprensión de estas vías ha permitido el desarrollo de inmunoestimulantes e inmunosupresores dirigidos a blancos moleculares concretos, optimizando su eficacia y perfil de seguridad (UNAM, 2020).

Asimismo, el avance de la inmunoterapia —incluyendo anticuerpos monoclonales, inhibidores de puntos de control inmunitario y terapias celulares como CAR-T— ha transformado el abordaje de enfermedades autoinmunes, trasplantes y patologías oncológicas. No obstante, la modulación farmacológica del sistema inmune exige una evaluación rigurosa de aspectos farmacocinéticos, farmacogenómicos y de seguridad, dado el delicado equilibrio que caracteriza la homeostasis inmunológica.

El presente capítulo integra los fundamentos bioquímicos de la respuesta inmunitaria con sus principales aplicaciones farmacéuticas y clínicas, destacando la importancia de un enfoque multidisciplinario para el uso seguro y eficaz de los inmunomoduladores en la práctica biomédica contemporánea.

El sistema inmunológico es esencial para la defensa del organismo contra patógenos y enfermedades. Su estudio desde una perspectiva

bioquímica y farmacéutica permite entender los mecanismos que regulan la respuesta inmunitaria y el desarrollo de inmunomoduladores. Estos agentes juegan un papel crucial en el tratamiento de enfermedades autoinmunes, infecciosas y oncológicas, así como en el éxito de los trasplantes de órganos (Quevedo & Joaquín, 2004)

6.2.1 Bases bioquímicas de la respuesta inmunitaria

6.2.1.1 Inmunidad innata

La inmunidad innata constituye la primera línea de defensa y se activa de forma inmediata frente a infecciones. Involucra barreras físicas (piel, mucosas), células fagocíticas (neutrófilos, macrófagos), células dendríticas y células NK. Estos efectores reconocen patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs) mediante receptores tipo Toll (TLR), lo cual activas vías de señalización intracelular como NF-κB, responsables de la expresión de genes proinflamatorios (Zenteno-Savín et al., 2020; UNAM, 2020)

6.2.1.2 Inmunidad adaptativa

La inmunidad adaptativa es específica y se desarrolla tras la exposición al antígeno. Involucra linfocitos T y B, que reconocen epítopos específicos mediante receptores TCR y BCR. Una característica clave es la memoria inmunológica. La activación de linfocitos T requiere la presentación de antígenos por células dendríticas en el contexto de moléculas MHC. Los linfocitos B pueden diferenciarse en células plasmáticas productoras de anticuerpos (Universidad de Valencia, s. f.).

6.2.2 Inmunomoduladores: Definición y clasificación

6.2.2.1 Inmunoestimulantes

Los inmunoestimulantes potencian la respuesta inmunitaria y se utilizan en infecciones y cáncer:

Citocinas: IL-2 y IFN-α activan linfocitos T y NK.

Adyuvantes: sustancias que mejoran la respuesta inmunitaria a vacunas (SalusPlay, s.f.)

6.2.2.2 Inmunosupresores

Los inmunosupresores reducen la actividad del sistema inmunológico y se emplean en enfermedades autoinmunes y trasplantes:

Glucocorticoides: inhiben la expresión de genes proinflamatorios.

Inhibidores de la calcineurina: ciclosporina y tacrolimus bloquean la activación de linfocitos T.

Antimetabolitos: azatioprina y micofenolato mofetilo inhiben la síntesis de ADN en células inmunitarias.

Inhibidores de mTOR: sirolimus bloquea la proliferación celular (SalusPlay, s.f.)

6.2.3 Aplicaciones clínicas de los inmunomoduladores

6.2.3.1 Enfermedades autoinmunes y trasplantes

Los inmunosupresores permiten tratar enfermedades autoinmunes como el lupus eritematoso sistémico o la artritis reumatoide, y son imprescindibles en el manejo postoperatorio de trasplantes de órganos. La combinación de fármacos como corticosteroides, calcineurínicos y

antimetabolitos mejora el pronóstico y reduce el riesgo de rechazo (SalusPlay, s.f.).

6.2.3.2 Inmunoterapia contra el cáncer

La inmunoterapia ha revolucionado el tratamiento oncológico. Medicamentos como los inhibidores de puntos de control inmunitarios (anti-PD-1, anti-CTLA-4) restauran la capacidad de los linfocitos T para atacar células tumorales. También se utilizan terapias con CAR-T, en las cuales los linfocitos del paciente son modificados genéticamente para atacar células malignas específicas (UNAM, 2020)

6.2.4 Consideraciones farmacológicas y efectos adversos

El uso de inmunomoduladores en clínica implica beneficios terapéuticos significativos, pero también riesgos que deben ser cuidadosamente evaluados. Fármacos inmunosupresores como la ciclosporina, el tacrolimus, el sirolimus y los corticosteroides actúan sobre rutas específicas del sistema inmune, como la inhibición de la calcineurina o mTOR, bloqueando la activación y proliferación de linfocitos.

Estos agentes tienen una ventana terapéutica estrecha, y sus efectos dependen de factores farmacocinéticos y farmacogenómicos, como la expresión de enzimas del citocromo P450 (por ejemplo, CYP3A4 y CYP3A5) (SalusPlay, s.f.).

Los principales efectos adversos incluyen:

Infecciones oportunistas, como CMV, tuberculosis reactivada o infecciones fúngicas.

Riesgo de cáncer, especialmente linfomas y tumores cutáneos. Toxicidades específicas, como nefrotoxicidad con tacrolimus o mielosupresión con antimetabolitos.

Alteraciones metabólicas, inducidas principalmente por corticosteroides (hiperglucemia, hipertensión, osteoporosis).

Reacciones inmunogénicas, en terapias biológicas como anticuerpos monoclonales.

Los inmunoestimulantes, por su parte, también pueden inducir síntomas adversos, como fiebre, fatiga, o agravar enfermedades autoinmunes.

Por tanto, el uso de estos fármacos exige un monitoreo clínico, laboratorial y, en muchos casos, una evaluación genética para ajustar la dosis, prevenir complicaciones y optimizar la respuesta terapéutica.

6.3 Aplicaciones clínicas

Caso clínico 1. Infección por VIH con manifestaciones clínicas asociadas

1. Contextualización y presentación clínica

Se presenta el caso de un paciente masculino de 27 años de edad, de etnia mestiza, con nivel de instrucción primaria completa. Reside en el área urbana y convive con su pareja, y se desempeña laboralmente en el sector de servicios. Su condición socioeconómica es limitada, y refiere antecedentes personales de consumo excesivo de alcohol desde los 15 años, llegando incluso a la pérdida de conciencia, aunque actualmente no refiere consumo activo. Niega el uso de tabaco y drogas ilícitas. El motivo de consulta fue un cuadro clínico caracterizado por diarrea persistente de aproximadamente cinco meses de evolución, con

deposiciones líquidas, fétidas, sin presencia de sangre ni moco, en una frecuencia de alrededor de cuatro veces por día. Este síntoma se ha acompañado de pérdida de peso cercana al 10 % de su peso corporal, astenia, anorexia y dolor abdominal localizado en el mesogastrio. Aproximadamente una semana antes de la consulta, presentó una exacerbación del cuadro clínico con episodios de fiebre no cuantificada durante tres días, sin respuesta al uso de paracetamol de 500 mg.

Al examen físico, el paciente mostraba un estado general regular, con evidentes signos de palidez en piel, mucosas orales semihúmedas y conjuntivas. Se identificaron adenopatías submaxilar derecha y supraclavicular izquierda de aproximadamente 1 cm, móviles, blandas y no dolorosas a la palpación. No se evidenciaron alteraciones respiratorias ni cardiovasculares de relevancia. En el examen abdominal, el abdomen se encontraba blando y levemente distendido, con dolor a la palpación profunda en mesogastrio e hipogastrio, sin signos de irritación peritoneal. No presentaba edemas periféricos y conservaba fuerza muscular 5/5. Desde el punto de vista neurológico, se encontraba orientado en tiempo, espacio y persona, con un puntaje de Glasgow de 15/15.

Los signos vitales al ingreso fueron: presión arterial de 110/60 mmHg, frecuencia cardiaca de 105 lpm, frecuencia respiratoria de 20 rpm, temperatura de 37.2 °C y saturación de oxígeno del 98 %. El paciente pesaba 67 kg, con una talla de 1.76 m, lo que corresponde a un IMC de 19.5, sugiriendo bajo peso.

Se planificó la realización de estudios laboratoriales que incluyeron hemograma completo, proteína C reactiva, pruebas de función renal y

hepática, carga viral de VIH, recuento de linfocitos CD4 y coprocultivo. Además, se solicitaron estudios de imagen como radiografía y tomografía computarizada de tórax y abdomen, y ecografía abdominal. También se consideraron pruebas específicas, como serología para CMV, GenXpert para tuberculosis resistente y punción ganglionar en caso de persistencia de las adenopatías.

Con base en los hallazgos clínicos y la historia, se estableció un diagnóstico presuntivo de síndrome diarreico, síndrome constitucional y síndrome de inmunodeficiencia humana adquirida (SIDA), con alta sospecha de infección por VIH en estadio avanzado, posiblemente acompañado de infecciones oportunistas.

El plan terapéutico inicial incluyó revaloración y optimización del tratamiento antirretroviral, soporte hídrico con sueros orales o intravenosos según la evolución clínica, y apoyo nutricional con suplementación proteico-calórica. El pronóstico fue considerado reservado, condicionado a la respuesta clínica al tratamiento antirretroviral y al control de las infecciones asociadas.

La evidencia moderna muestra que factores socioeconómicos y conductuales como el consumo de alcohol, educación básica y condiciones de pobreza influyen significativamente en la adherencia al tratamiento y disminuyen la retención en servicios de salud. Para un farmacéutico, entender este contexto es esencial para formular estrategias de intervención personalizadas, que mejoren el entendimiento del tratamiento, reduzcan la deserción y empoderen al paciente.

2. Evaluación diagnóstica

El diagnóstico sindrómico y etiológico se orienta hacia la infección por VIH, en fase avanzada, con sospecha de infecciones oportunistas. Anatómicamente, se evidencian alteraciones en el sistema linfático (adenopatías submaxilar y supraclavicular), el sistema digestivo (síndrome diarreico) y el sistema inmune (síndrome de inmunodeficiencia adquirida). Esta integración de anatomía y fisiopatología permite al farmacéutico comprender la localización del daño, su repercusión sistémica y cómo estos conocimientos influyen en la selección farmacológica adecuada.

- Las adenopatías submandibulares y supraclaviculares indican compromiso del sistema linfático asociado al VIH, útil para un diagnóstico diferencial.
- El síndrome diarreico implica alteraciones intestinales profundas, donde el microbioma influye en la absorción de fármacos.
- Las herramientas: ELISA, Western Blot y PCR no solo confirman la infección, sino que permiten un seguimiento farmacoterapéutico preciso: carga viral y recuento de CD4 son esenciales para ajustar tratamiento.

3. Abordaje terapéutico y farmacológico

El plan terapéutico propuesto incluye la administración de antirretrovirales, rehidratación oral o intravenosa, y suplementación nutricional. Desde la farmacia clínica, este componente del caso es fundamental. Se debe considerar el mecanismo de acción de los antirretrovirales (como inhibidores de la transcriptasa reversa o

proteasa), así como su farmacocinética: absorción oral, metabolismo hepático (CYP450), distribución en tejidos linfoides, y eliminación principalmente renal o hepática.

Además, es vital monitorear los efectos adversos comunes como hepatotoxicidad, mielosupresión, trastornos gastrointestinales y efectos sobre el sistema nervioso central. También se debe tener en cuenta la posibilidad de interacciones medicamentosas, particularmente en pacientes que podrían estar polimedicados por infecciones oportunistas u otras comorbilidades.

a) Selección terapéutica:

- Guías actuales recomiendan inhibidores de integrasa (INSTI), con mayor eficacia, tolerancia y menor riesgo de interacciones comparados con esquemas previos.
- Formas de administración innovadoras, como el inyectable de acción prolongada (e.g., cabotegravir), facilitan la adherencia especialmente en poblaciones vulnerables.

b) Farmacocinética y farmacodinamia:

- Los INSTI actúan en compartimentos asociados con anatomía regional (ganglios, mucosa gastrointestinal), optimizando su penetración.
- El metabolismo hepático (CYP y UGT) y los polimorfismos genéticos condicionan la respuesta individualizada, fundamental en farmacia clínica avanzada.

c) Efectos adversos e interacciones:

- Se deben considerar efectos como hepatotoxicidad, dislipidemias y anemia.
- Interacciones relevantes incluyen inducción/inhibición enzimática: efavirenz, rifampicina y suplementos vitaminados modifican niveles de ARV.
- La farmacéutica debe brindar educación precisa sobre efectos secundarios, interacciones y medidas correctivas.

4. Consideraciones bioquímico-farmacéuticas

Uno de los pilares del tratamiento antirretroviral es su interacción farmacológica, especialmente con fármacos usados en infecciones oportunistas como antibióticos o antifúngicos. El farmacéutico debe identificar y gestionar estas interacciones para garantizar seguridad y eficacia.

La dosis y vía de administración también requieren un abordaje cuidadoso. Factores como el estado nutricional del paciente, la función hepática y renal (que puede estar comprometida), y el acceso a los medicamentos influyen directamente en la posología. En este caso, la adherencia puede verse limitada por el contexto social del paciente, por lo cual se sugiere priorizar esquemas simplificados de dosis única diaria cuando sea posible.

El monitoreo clínico y laboratorial incluye seguimiento de la carga viral, niveles de CD4, pruebas hepáticas y renales, así como parámetros hematológicos. El farmacéutico puede intervenir directamente en este proceso, interpretando resultados y sugiriendo ajustes.

5. Rol del bioquímico farmacéutico

El rol del farmacéutico en este contexto trasciende la simple dispensación de medicamentos. Debe actuar como educador, asegurándose de que el paciente comprenda su tratamiento, la importancia de la adherencia y las posibles reacciones adversas.

También debe brindar consejos prácticos orientados a mejorar el cumplimiento terapéutico, como la identificación de signos de alarma, estrategias para recordar dosis, orientación nutricional básica y medidas para reducir el riesgo de reinfecciones o contagio a terceros. Un acompañamiento activo del farmacéutico mejora significativamente los resultados clínicos en enfermedades crónicas como el VIH/SIDA.

6. Claves de aprendizaje

- El recuento de linfocitos CD4 y la carga viral traducen en cifras el estado del sistema inmunitario y la eficacia del tratamiento: son la base del seguimiento.
- Las adenopatías y el compromiso intestinal muestran que el sistema linfático es un órgano diana de la infección, no un espectador.
- La adherencia al tratamiento antirretroviral depende también de factores sociales y educativos, y ahí la intervención farmacéutica resulta decisiva.

6.4 Resumen

El sistema linfático es una red fundamental para el mantenimiento del equilibrio de líquidos corporales y la defensa inmunológica. Está compuesto por vasos linfáticos, ganglios linfáticos y órganos linfoides

primarios (médula ósea y timo) y secundarios (bazo, MALT y ganglios), donde se produce, madura y activa la respuesta inmunitaria. La linfa, un fluido rico en linfocitos, se forma en el espacio intersticial, fluye a través de los vasos linfáticos y se filtra en los linfonodos antes de retornar a la circulación venosa, contribuyendo así a la vigilancia inmunológica. La distribución anatómica de este sistema es estratégica, aunque está ausente en ciertas estructuras como el sistema nervioso central o el cartílago. Comprender su organización y función permite valorar su papel clave en la protección frente a infecciones y en el transporte de grasas absorbidas por el intestino. Para consolidar lo aprendido, es importante reflexionar sobre el trayecto de la linfa, el papel de cada órgano linfoide y cómo estas estructuras interactúan con otros sistemas corporales.

El sistema linfático es mucho más que una red secundaria al sistema circulatorio: es una estructura vital que garantiza la defensa inmunológica, la depuración de líquidos intersticiales y el transporte de lípidos absorbidos en el intestino. Desde los pequeños capilares linfáticos hasta órganos complejos como el bazo o el timo, este sistema coordina funciones que permiten al organismo mantener su equilibrio interno (homeostasis) y protegerse ante amenazas externas. Cada componente, desde una amígdala hasta una célula T madura, cumple un rol esencial dentro de una arquitectura funcional que es silenciosa pero indispensable.

Comprender la fisiología del sistema linfático implica reconocer que la defensa del cuerpo no solo depende de grandes respuestas inmunes, sino también de pequeños y constantes procesos invisibles que mantienen el

entorno celular limpio, nutrido y vigilado. Esta red linfática, que se mueve sin una bomba central y depende del movimiento corporal y la respiración, es un reflejo de cómo el cuerpo coopera internamente para su propia supervivencia

El sistema inmune es una red integrada de células, órganos y moléculas encargada de proteger al organismo frente a patógenos y células alteradas. Se divide en inmunidad innata, que actúa de manera rápida e inespecífica mediante barreras físicas, células fagocíticas y receptores como los TLR, e inmunidad adquirida, que es específica, genera memoria inmunológica y está mediada por linfocitos T y B.

La inmunidad adaptativa permite la producción de anticuerpos y la eliminación selectiva de células infectadas, constituyendo la base de la vacunación. Las alteraciones en su regulación pueden dar lugar a enfermedades autoinmunes o inmunodeficiencias.

Desde el enfoque farmacológico, el conocimiento de estos mecanismos ha permitido desarrollar inmunoestimulantes e inmunosupresores, fundamentales en el tratamiento de infecciones graves, cáncer, enfermedades autoinmunes y en la prevención del rechazo de trasplantes, resaltando la importancia del equilibrio inmunológico en la práctica clínica**.**

El capítulo aborda la inmunidad desde una perspectiva bioquímica y farmacéutica, destacando los mecanismos moleculares que regulan la respuesta inmunitaria y su aplicación terapéutica. Se describen las bases de la inmunidad innata y adaptativa, enfatizando procesos como la activación de receptores tipo Toll (TLR), la señalización intracelular

(NF-κB), la presentación antigénica mediante MHC y la activación de linfocitos T y B.

Asimismo, se clasifican los inmunomoduladores en inmunoestimulantes e inmunosupresores, detallando sus mecanismos de acción y su uso en infecciones, cáncer, enfermedades autoinmunes y trasplantes. Se resalta el impacto de la inmunoterapia moderna, como los inhibidores de puntos de control inmunitario y las terapias CAR-T.

Finalmente, se analizan las consideraciones farmacológicas, incluyendo farmacocinética, farmacogenómica, efectos adversos y la necesidad de un monitoreo clínico riguroso para mantener el equilibrio de la homeostasis inmunológica y optimizar la seguridad terapéutica.

6.5 Preguntas de repaso

Opción múltiple

1. La linfa se forma a partir de:

A. La secreción directa de los linfonodos.

B. La degradación de los eritrocitos en el bazo.

C. El líquido cefalorraquídeo que drena hacia los tejidos.

D. La filtración del plasma hacia el espacio intersticial.

2. La circulación de la linfa depende principalmente de:

A. El movimiento corporal, la respiración y las válvulas de los vasos linfáticos.

B. La contracción de una bomba central propia del sistema linfático.

C. La presión generada por el ventrículo izquierdo.

D. La ósmosis a través de la pared de los capilares sanguíneos.

3. Los órganos linfoides primarios son:

A. El bazo y las amígdalas.

B. La médula ósea y el timo.

C. Los linfonodos y el tejido linfoide asociado a mucosas.

D. El conducto torácico y las vénulas poscapilares.

4. Los quilomicrones se incorporan a la circulación por vía linfática porque:

A. La linfa los degrada antes de permitir su absorción.

B. El bazo los sintetiza a partir de los lípidos de la dieta.

C. Su tamaño les impide atravesar la pared de los capilares sanguíneos.

D. Los linfonodos los producen durante el proceso digestivo.

5. Un inmunosupresor administrado tras un trasplante actúa fundamentalmente:

A. Estimulando la memoria inmunológica del receptor.

B. Aumentando la producción de inmunoglobulinas.

C. Bloqueando la formación de linfa en el intersticio.

D. Reduciendo la activación y la proliferación de los linfocitos.

Preguntas abiertas y de aplicación

6. Describa el trayecto completo de la linfa desde su formación en el intersticio hasta su retorno a la circulación venosa, mencionando las estructuras que atraviesa.

7. Compare los órganos linfoides primarios y los secundarios señalando qué proceso ocurre en cada grupo y qué órganos los integran.

8. Explique la función de filtración del linfonodo y de qué modo su organización interna hace posible la vigilancia inmunológica.

9. Relacione la clasificación de los inmunomoduladores con sus aplicaciones clínicas y explique por qué su empleo obliga a vigilar los efectos adversos.

Reflexión e integración

10. Argumente por qué el sistema linfático no debe considerarse una simple red accesoria del sistema circulatorio, integrando en su respuesta sus tres funciones principales.

11. Analice qué consecuencias fisiológicas cabría esperar si el drenaje linfático de una región del cuerpo quedara interrumpido, considerando tanto el equilibrio de líquidos como la vigilancia inmunitaria.

12. Desde el ejercicio del bioquímico farmacéutico, justifique por qué el tratamiento inmunosupresor exige un seguimiento estrecho, relacionando su mecanismo de acción con el riesgo que comporta.

CAPÍTULO VII

7. SISTEMA URINARIO

7.1 Anatomía del sistema urinario

El sistema urinario desempeña un papel esencial en el mantenimiento de la homeostasis, al encargarse de la eliminación de desechos metabólicos y de la regulación del equilibrio hídrico, electrolítico y ácido-base del organismo (Guyton & Hall, 2021). Los riñones, ubicados en la región retroperitoneal entre la duodécima vértebra torácica y la tercera lumbar, reciben aproximadamente entre el 20 y 25 % del gasto cardíaco, lo que evidencia su importancia funcional en la depuración sanguínea y el control sistémico (Tortora & Derrickson, 2018).

La unidad estructural y funcional del riñón es la nefrona, donde se llevan a cabo los procesos de filtración glomerular, reabsorción tubular y secreción, mecanismos que permiten la formación de la orina y la conservación de sustancias esenciales (Hall, 2021). Asimismo, el aparato yuxtaglomerular participa activamente en la regulación de la presión arterial mediante la secreción de renina, integrando la función renal con el sistema cardiovascular (Guyton & Hall, 2021).

Las vías urinarias uréteres, vejiga y uretra complementan esta función al transportar, almacenar y expulsar la orina. Estas estructuras presentan características histológicas especializadas, como el epitelio de transición y capas musculares organizadas, que permiten el flujo unidireccional y el control de la micción (Tortora & Derrickson, 2018). En conjunto, el sistema urinario constituye un sistema regulador complejo cuya función trasciende la simple excreción, participando activamente en el equilibrio fisiológico integral del organismo. (Figura 58)

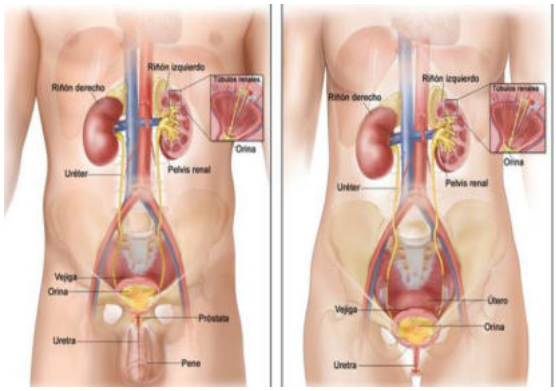


Figura 58. Anatomía del Aparato Urinario Humano.

Fuente: Winslow (2010).

El sistema urinario es fundamental para mantener la homeostasis, ya que filtra la sangre para eliminar desechos como la urea, y regula el equilibrio de agua, electrolitos y pH corporal. Los riñones, situados en la región retroperitoneal entre la 12ª vértebra torácica y la 3ª lumbar (el derecho un poco más bajo por el hígado), reciben entre el 20 y 25% del gasto cardíaco a través de las arterias renales. Estos órganos filtran la sangre mediante unidades funcionales llamadas nefronas, que reabsorben sustancias esenciales, eliminan hidrogeniones y regulan el pH.

También controlan la presión arterial secretando renina en caso de hipotensión. Internamente, los riñones están formados por una corteza que contiene corpúsculos renales y túbulos contorneados, y una médula compuesta por pirámides renales donde se encuentran las asas de Henle y túbulos colectores. El corpúsculo renal filtra el plasma, impidiendo el paso de proteínas y células, mientras los túbulos modifican el filtrado para formar la orina mediante procesos de reabsorción y secreción.

El aparato yuxtaglomerular, ubicado entre la arteriola aferente y el túbulo distal, es clave en la regulación de la presión arterial mediante la secreción de renina. Histológicamente, el túbulo proximal tiene abundantes microvellosidades para maximizar la reabsorción, las asas de Henle están revestidas por epitelio plano para facilitar transporte pasivo, y los túbulos distal y colector contienen células que regulan la absorción de sodio y agua bajo control hormonal, así como células intercaladas que mantienen el equilibrio ácido-base eliminando iones hidrógeno. FD

7.1.1 Vías urinarias

Las vías urinarias transportan la orina desde los riñones hasta el exterior e incluyen

Uréteres: Son conductos musculares de 25 a 30 cm que conectan la pelvis renal con la vejiga. Penetran oblicuamente en la pared vesical para funcionar como válvulas que evitan el reflujo de orina. Su pared tiene tres capas: mucosa con epitelio de transición, capa muscular (longitudinal interna y circular externa) y adventicia.

Vejiga urinaria: Órgano hueco y musculado, ubicado en la pelvis justo detrás de la sínfisis púbica, con capacidad promedio de 300-500 mL. La mucosa está cubierta por epitelio transicional y la capa muscular o detrusor se compone de fibras orientadas en distintas direcciones. En la base, el trígono vesical, delimitado por los orificios ureterales y el orificio uretral interno, es una zona lisa y fija.

Uretra: Conducto que lleva la orina al exterior. En mujeres mide aproximadamente 4 cm y se abre en el vestíbulo vaginal. En hombres tiene unos 20 cm, atraviesa la próstata, el diafragma urogenital y el pene,

y además transporta semen durante la eyaculación. Se divide en uretra prostática, membranosa y esponjosa.

7.2 Fisiología del sistema urinario y diagnóstico clínico

La fisiología del sistema urinario analiza los procesos mediante los cuales los riñones filtran la sangre, eliminan desechos metabólicos y regulan el equilibrio del medio interno. A través de mecanismos como la filtración glomerular, la reabsorción y la secreción tubular, las nefronas modifican la composición del plasma para formar la orina, permitiendo el control del volumen de líquidos, la concentración de electrolitos y el equilibrio ácido-base (Guyton & Hall, 2021). Además, los riñones cumplen funciones endocrinas fundamentales, como la secreción de eritropoyetina y la activación de la vitamina D, así como la regulación de la presión arterial mediante el sistema renina-angiotensina-aldosterona (Tortora & Derrickson, 2018).

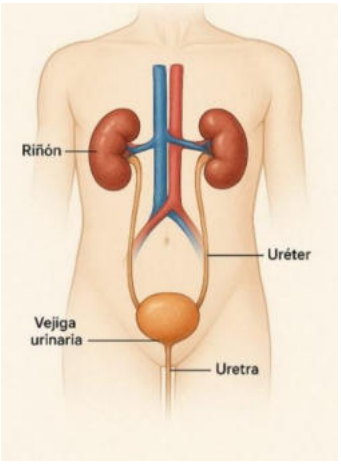


Figura 59. Fisiología del Sistema Urinario.

Fuente: Elaboración propia.

La micción constituye un proceso fisiológico complejo regulado por la integración de los sistemas nerviosos simpático, parasimpático y somático, lo que permite coordinar el almacenamiento y la expulsión voluntaria de la orina (Hall, 2021). Asimismo, el sistema urinario mantiene estrechas relaciones anatómicas y funcionales con los sistemas cardiovascular, endocrino y reproductor, evidenciando su papel integrador en la homeostasis corporal. El estudio detallado de estos mecanismos resulta esencial para comprender las bases fisiológicas de múltiples alteraciones renales y urológicas. La fisiología del sistema urinario trata de la depuración de la sangre en los riñones, lo que permite la eliminación de desechos y la creación de orina, en lo cual mediante mecanismos como la filtración en los glomérulos, la reabsorción y la secreción en los túbulos, se modifica la composición del plasma, este sistema regula el balance de fluidos, electrolitos y el pH en el organismo; sin mencionar, que también juega un papel en el manejo de la presión arterial y la generación de hormonas como la eritropoyetina.

7.2.1 Regulación nerviosa de la micción

La micción es controlada por un sistema nervioso complejo que combina acciones voluntarias e involuntarias:

Simpático (T11-L2): Relaja el músculo detrusor y contrae el esfínter interno, favoreciendo el almacenamiento de orina.

Parasimpático (S2-S4): Contrae el detrusor y relaja el esfínter interno, permitiendo la expulsión de la orina.

Somático (nervio pudendo, S2-S4): Control voluntario del esfínter externo. El reflejo de micción comienza con la distensión de la vejiga que activa receptores de estiramiento, enviando señales a la médula espinal y al cerebro, que pueden facilitar o inhibir la micción conscientemente.

7.2.2 Relaciones anatómicas con otros sistemas

Sistema reproductor: En hombres, la uretra está integrada en el sistema reproductor, conectando con próstata y conductos deferentes. La vejiga está relacionada con vesículas seminales y próstata. En mujeres, la vejiga se encuentra delante del útero y la vagina.

Sistema digestivo: Los uréteres están próximos al colon sigmoide y recto. La vejiga masculina se relaciona con el recto, mientras que en la mujer está en contacto con el útero y la parte anterior del recto.

Sistema cardiovascular: El flujo sanguíneo renal representa casi una quinta parte del gasto cardíaco, y los riñones regulan la presión arterial a través de la renina.

Sistema endocrino: Los riñones producen eritropoyetina para estimular la producción de glóbulos rojos y activan la vitamina D (calcitriol), esenciales para la homeostasis.

7.2.3 Sistema urinario: Anatomía comparada y fisiología

Aunque ambos sexos tienen los mismos órganos, la uretra masculina es más larga (~20 cm) y transporta semen, mientras que la femenina es corta (~4 cm) y separada del sistema reproductor, lo que incrementa su riesgo de infecciones urinarias.

7.2.3.1 Funciones renales

Filtración glomerular: Se filtran unos 180 litros de plasma al día.

Reabsorción: El 99% del filtrado es reabsorbido para recuperar agua y solutos.

Secreción: Eliminación activa de toxinas y desechos.

Excreción: Formación final de aproximadamente 1.5 litros de orina diaria.

7.2.3.2 Regulación renal

Mediante hormonas como:

Renina-angiotensina-aldosterona: Regula presión arterial y volumen.

ADH: Controla la reabsorción de agua en túbulos colectores.

Péptido natriurético: Contrarresta la retención de sodio y agua.

Secreción de H^+ y reabsorción de bicarbonato: Mantiene el equilibrio ácido-base.

Eritropoyetina: Estimula producción de eritrocitos ante hipoxia

7.3 Bases bioquímicas y enfoque farmacéutico del sistema urinario

El sistema urinario cumple una función esencial en el mantenimiento de la homeostasis, al regular el equilibrio hidroelectrolítico, el pH sanguíneo y la eliminación de productos nitrogenados del metabolismo como la urea y la creatinina (Guyton & Hall, 2021). Desde el punto de vista bioquímico, los procesos de filtración glomerular, reabsorción y secreción tubular permiten modificar la composición del plasma y formar la orina, asegurando el control preciso del volumen corporal y de la concentración de solutos (Tortora & Derrickson, 2018).

El análisis bioquímico de la orina constituye una herramienta diagnóstica fundamental para evaluar la función renal y metabólica. Alteraciones como proteinuria, hematuria, glucosuria o cetonuria pueden indicar enfermedades renales, diabetes mellitus o infecciones urinarias. Además, el uso de biomarcadores como la albúmina urinaria y la cistatina C ha mejorado la detección temprana del daño renal (Brenner & Rector, 2020). La evaluación clínica de la función renal mediante la creatinina sérica y la tasa de filtración glomerular (TFG) permite estimar la capacidad depurativa del riñón y orientar decisiones terapéuticas.

Desde la perspectiva farmacéutica, el riñón condiciona de forma directa la farmacocinética, ya que participa en la excreción de numerosos fármacos y sus metabolitos. La insuficiencia renal altera la eliminación de medicamentos, lo que obliga a realizar ajustes de dosis para prevenir toxicidad (Katzung, 2021). Asimismo, ciertos agentes, como los aminoglucósidos, pueden inducir nefrotoxicidad mediante mecanismos de estrés oxidativo y daño tubular, lo que resalta la importancia del monitoreo clínico y bioquímico. En este contexto, el enfoque bioquímico y farmacéutico del sistema urinario permite integrar el conocimiento fisiológico con la práctica terapéutica, optimizando la seguridad y eficacia del tratamiento en pacientes con alteraciones renales.

El sistema urinario regula el equilibrio químico y la eliminación de desechos. Con respecto a la figura 9.2, que muestra su anatomía, los procesos bioquímicos como la filtración y reabsorción renal son esenciales para su función. Las enfermedades urinarias afectan estos procesos y la respuesta a los fármacos, por lo que el enfoque

farmacéutico ajusta tratamientos para mejorar la eficacia y seguridad. (Figura 59)

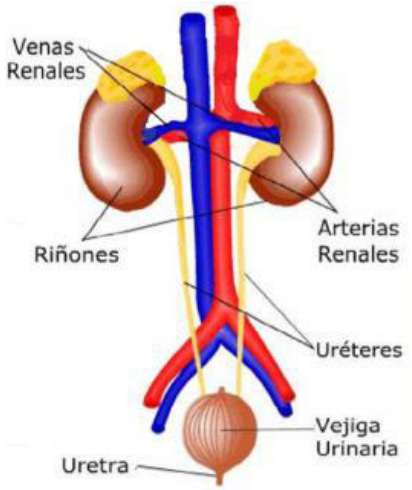


Figura 60. Sistema Urinario.

Fuente: Sistema urinario del Carmen. (2024).

7.3.1 Bioquímica y análisis de orina

La orina está compuesta en un 95% por agua y contiene solutos como urea y electrolitos. Alteraciones como proteinuria, hematuria, glucosuria y cetonuria pueden indicar enfermedades renales, diabetes o infecciones. El análisis incluye métodos cualitativos (tiras reactivas), microscópicos y cuantitativos, así como biomarcadores para evaluar daño renal temprano (albúmina, cistatina C, KIM-1).

7.3.1.1 Toxicología renal

Sustancias nefrotóxicas como aminoglucósidos, metales pesados y solventes pueden dañar el riñón a través de mecanismos como estrés oxidativo, daño mitocondrial, apoptosis e inflamación.

7.3.1.2 Diagnóstico clínico

La función renal se evalúa mediante niveles de creatinina, urea y tasa de filtración glomerular (TFG). Imágenes como ecografía y tomografía detectan cálculos, masas o daños estructurales. Las infecciones urinarias son más comunes en mujeres, mientras que los hombres tienen mayor riesgo de obstrucción por hiperplasia prostática.

7.3.1.3 Enfoque farmacéutico en enfermedades urinarias

El tratamiento debe ser cuidadoso, ajustando dosis según función renal. Las infecciones se tratan con antibióticos específicos; los cálculos renales con fármacos que modifican el pH urinario; y los síndromes glomerulares con diuréticos, corticosteroides e inmunosupresores. Los medicamentos antihipertensivos protegen el riñón a largo plazo y previenen complicaciones.

7.4 Aplicaciones clínicas

Caso clínico 1. Infección del tracto urinario en paciente adulta mayor

1. Contextualización y presentación clínica

Una paciente adulta de 79 años de edad acudió una tarde a un hospital, donde fue atendida por la médica tratante. La paciente presentaba síntomas evidentes de una fuerte infección urinaria: orina oscura con olor fétido, dolor al orinar y un intenso dolor en la parte baja del abdomen. Al momento del ingreso, sus signos vitales mostraban fiebre alta y presión arterial elevada. Durante la consulta, los síntomas se presentaban de forma intermitente, lo que llevó al equipo médico a decidir su ingreso en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI).

Una vez hospitalizada, el personal médico accedió a su historial clínico y familiar, con el fin de identificar posibles enfermedades hereditarias, reacciones adversas a medicamentos previos y tratamientos anteriores que pudieran influir en su manejo actual. Esta información resultó crucial para seleccionar el tratamiento más adecuado, evitando complicaciones y garantizando una respuesta terapéutica segura y eficaz.

2. Evaluación diagnóstica

En el proceso diagnóstico de las afecciones del sistema urinario, resulta fundamental identificar la región anatómica implicada, en este caso, el malestar en la parte inferior del abdomen representa un signo clínico clave que orienta hacia una posible alteración en las vías urinarias bajas, provocando los síntomas de orina oscura y fétida, y dolor al orinar, en una secuencia intermitente, la exploración anatómica se enfocó principalmente en la vejiga, ya que estas estructuras están directamente relacionadas con síntomas como el dolor suprapúbico o la disuria, cuando se sospecha de complicaciones anatómicas como el reflujo vesicoureteral, se hace indispensable la utilización de estudios de imagen como la ecografía o la tomografía, que permiten visualizar las vías urinarias y detectar obstrucciones, dilataciones o flujos retrógrados de orina; además, en situaciones más severas como la pielonefritis, donde se comprometen los riñones y la anatomía del parénquima renal, se deben valorar signos sistémicos como fiebre y dolor en el ángulo costovertebral.

En lo que respecta a las herramientas de diagnóstico, el urocultivo se destaca como el examen microbiológico más importante y eficaz en

estos casos, ya que facilita la identificación del patógeno que causa la infección y la determinación del tratamiento antibiótico adecuado; asimismo, el análisis de orina es vital para evidenciar la presencia de células inflamatorias, glóbulos blancos y bacterias, lo que confirma una respuesta inmunológica activa ante la infección, los datos obtenidos de estas pruebas se analizan junto con el historial médico del paciente, siendo esto especialmente relevante en individuos con antecedentes de inmunodepresión, dado que su sistema inmune debilitado los hace más susceptibles a infecciones recurrentes y complicadas.

3. Abordaje terapéutico y farmacológico

Para el tratamiento de enfermedades del sistema urinario como infecciones urinarias bajas o altas se emplean comúnmente antibióticos, ya que permiten eliminar las bacterias responsables de la infección. La elección depende del tipo de patógeno, la resistencia antimicrobiana, la tolerancia del paciente y el espectro del medicamento.

Antibióticos comunes:

Nitrofurantoína: Actúa directamente en la orina, eliminando bacterias del tracto urinario inferior.

Ciprofloxacino (fluoroquinolona): Eficaz contra bacterias gramnegativas; se usa en infecciones urinarias más complicadas o altas.

Trimetoprim-sulfametoxazol (TMP-SMX): Combina dos antibióticos que bloquean la producción de ácido fólico en bacterias, deteniendo su crecimiento.

Analgésicos urinarios:

Fenazopiridina: Alivia el dolor, ardor o molestia al orinar, sin tratar directamente la infección.

Efectos secundarios

Los efectos secundarios más comunes incluyen náuseas, vómitos y diarrea. Otros efectos adversos importantes de los antibióticos urinarios pueden incluir:

Nitrofurantoína: Toxicidad pulmonar (en uso prolongado), reacciones hepáticas, orina color marrón.
Ciprofloxacino: Tendinitis, fototoxicidad, prolongación del QT.
TMP-SMX: Hipersensibilidad, discrasias sanguíneas, hiperpotasemia.

Es crucial considerar que algunos medicamentos pueden potenciar efectos adversos o alterar la eficacia terapéutica. Por ejemplo

- Interacción entre TMP-SMX y warfarina: aumento del efecto anticoagulante.
- Uso conjunto de ciprofloxacino con antiácidos: disminuye su absorción.
- Metformina + antibióticos nefrotóxicos: riesgo aumentado de acidosis láctica.

4. Rol del bioquímico farmacéutico

El farmacéutico cumple un papel clave al realizar una anamnesis previa que le permite anticipar reacciones adversas y ajustar la dosis del tratamiento. Si se presentan efectos graves o inesperados, debe tratarlos como una emergencia y suspender el medicamento si es necesario. En caso de reacción a un fármaco esencial, se recomienda detener su uso y solicitar un cultivo para elegir una alternativa adecuada.

Estrategias de manejo

- Monitorear la tolerancia del paciente.
- Educar al paciente sobre posibles efectos adversos comunes, como la diarrea o cambios en el color de la orina.
- Establecer un plan de seguimiento para detectar reacciones tempranas.
- Ajustar el tratamiento en función del mecanismo de acción del fármaco, según si la infección es intracelular o extracelular.

5. Consideraciones bioquímico-farmacéuticas

Interacciones Medicamentosas: El farmacéutico debe prevenir interacciones que afecten la eficacia del antibiótico o causen toxicidad, especialmente en pacientes mayores con riesgo renal. Deben evitarse combinaciones como IECA + AINE + diurético. Se requiere revisar interacciones posibles con antibióticos prescritos y ajustar según función renal.

Dosis y Administración: En infecciones urinarias graves, se prefiere inicio intravenoso, cambiando a oral si mejora. El farmacéutico ajusta dosis según edad, peso y función renal. Su rol incluye elegir la vía adecuada y evitar toxicidad en función del estado clínico.

Monitoreo: Debe observarse la evolución clínica en 48-72 horas y revisar laboratorio (orina, PCR, urocultivo). El farmacéutico detecta toxicidades y evalúa parámetros como creatinina, eGFR, y niveles plasmáticos para ajustar el tratamiento junto al equipo médico.

Enfoque integral del paciente

Rol del Farmacéutico: Además del tratamiento, educa, aclara dudas y detecta efectos adversos comunes en adultos mayores. Evalúa eficacia y seguridad, sugiriendo cambios si no hay mejoría, enfocándose en una atención segura e individualizada.

Consejos Prácticos: Ajustar dosis según evolución, evitar fármacos innecesarios, hacer seguimiento clínico y educar sobre hidratación, adherencia y signos de alarma. Reevaluar a las 72 h con urocultivo si no hay mejoría.

6. Claves de aprendizaje

- La longitud y la posición de la uretra explican por qué la infección urinaria es más frecuente en la mujer: anatomía y epidemiología van unidas.
- La elección del antibiótico depende del sitio anatómico de la infección y de su capacidad para alcanzarlo en concentración eficaz.
- En el paciente adulto mayor, la función renal condiciona la dosis: verificarla antes de validar el tratamiento es una intervención farmacéutica de primer orden.

7.5 Resumen

El sistema urinario sostiene la homeostasis, ya que filtra la sangre para eliminar desechos metabólicos y regula el equilibrio de agua, electrolitos y pH corporal (Guyton & Hall, 2021). Los riñones, a través de las nefronas, realizan los procesos de filtración, reabsorción y secreción que permiten la formación de la orina y el ajuste preciso de la composición del medio interno.

La micción es el proceso mediante el cual se expulsa la orina desde la vejiga al exterior, y está regulada por el sistema nervioso. El sistema parasimpático activa el músculo detrusor para expulsar la orina, el simpático mantiene cerrado el esfínter interno y el somático permite el control voluntario del esfínter externo, permitiendo iniciar o detener la micción.

El sistema urinario se relaciona con el sistema reproductor (especialmente en hombres, donde comparten la uretra), el digestivo (ambos eliminan desechos), el cardiovascular (la correcta filtración depende del flujo sanguíneo) y el endocrino (que regula funciones renales a través de hormonas como la renina y la eritropoyetina).

La uretra masculina es más larga y tiene función reproductiva, mientras que la femenina, más corta y cercana a la vagina y el ano, es más propensa a infecciones. Además, los riñones cumplen funciones vitales como filtrar la sangre, regular la presión arterial, controlar el pH y mantener el equilibrio de agua y electrolitos.

Los riñones son dos órganos con forma de frijol ubicados a ambos lados de la columna vertebral. Su función principal es filtrar la sangre para eliminar desechos como la urea y el exceso de agua, formando orina. También regulan el equilibrio de líquidos y electrolitos, el pH, y la presión arterial mediante hormonas como la renina y la eritropoyetina. Están formados por corteza y médula renal, donde se encuentran las nefronas, que son las unidades funcionales encargadas de producir la orina.

Los Túbulos renales son estructuras de las nefronas donde se lleva a cabo la reabsorción de sustancias útiles como agua y glucosa, y la

secreción de productos de desecho como iones y medicamentos. Así se regula el contenido final de la orina y el equilibrio ácido-base del cuerpo. Este proceso está influenciado por hormonas como la aldosterona y la hormona antidiurética (ADH), que controlan cuánta agua y sales se reabsorben.

Las vías urinarias incluyendo a los uréteres, transportan la orina desde los riñones hasta la vejiga, donde se almacena temporalmente. Cuando la vejiga se llena, la orina es expulsada al exterior por la uretra. Estas vías aseguran que la orina formada en los riñones sea eliminada correctamente. En mujeres la uretra es más corta, lo que las hace más propensas a infecciones urinarias.

- La orina está compuesta en un 95% por agua, y contiene desechos como urea, creatinina y diversos electrolitos. Su análisis clínico permite evaluar el estado de salud renal y metabólico. Se utilizan tiras reactivas, microscopía y medición de biomarcadores como la albúmina, cistatina C y KIM-1 para detectar daño renal temprano.
- Cambios en la composición de la orina pueden indicar patologías: *proteinuria* (presencia anormal de proteínas), *hematuria* (sangre en la orina), *glucosuria* (presencia de glucosa, común en diabetes) y *cetonuria* (cuerpos cetónicos, frecuentes en ayuno prolongado o cetosis diabética).
- La exposición a ciertos fármacos o sustancias tóxicas puede generar nefrotoxicidad, un daño renal caracterizado por estrés oxidativo e inflamación. Para evaluar la función renal se emplean pruebas como los niveles de *creatinina*, *urea* y la *tasa de filtración*

glomerular (TFG), además de estudios de imágenes como ecografías.

- El tratamiento de las enfermedades renales incluye el ajuste adecuado de dosis farmacológicas, uso de antibióticos específicos, diuréticos para controlar el equilibrio de líquidos, y protectores renales para prevenir progresión del daño. La intervención temprana mejora el pronóstico del paciente.

7.6 Preguntas de repaso

Opción múltiple

1. La unidad funcional del riñón es:

A. La nefrona.

B. El corpúsculo renal.

C. El túbulo colector.

D. La pelvis renal.

2. Durante la micción, el músculo detrusor y el esfínter externo se comportan del siguiente modo:

A. Ambos se contraen de forma simultánea por acción simpática.

B. El detrusor se contrae por acción parasimpática y el esfínter externo se relaja por control somático voluntario.

C. El detrusor se relaja mientras el esfínter externo se contrae para vaciar la vejiga.

D. El proceso es exclusivamente involuntario y no admite control consciente.

3. La producción renal de eritropoyetina y de renina demuestra que el riñón:

A. Actúa únicamente como órgano de filtración.

B. Depende del hígado para sintetizar sus hormonas.

C. Desempeña además una función endocrina.

D. Regula exclusivamente el pH sanguíneo.

4. La mayor frecuencia de infecciones urinarias en la mujer se explica anatómicamente por:

A. Una vejiga urinaria de menor capacidad.

B. La ausencia de esfínter uretral externo.

C. Una tasa de filtración glomerular más elevada.

D. Una uretra más corta y próxima a la vagina y al ano.

5. La reabsorción tubular tiene como finalidad:

A. Recuperar sustancias útiles como el agua y la glucosa.

B. Eliminar la totalidad del filtrado glomerular.

C. Aumentar la concentración de proteínas plasmáticas.

D. Sustituir el proceso de filtración glomerular.

Preguntas abiertas y de aplicación

6. Explique los tres procesos que intervienen en la formación de la orina e indique en qué segmento de la nefrona se desarrolla cada uno.

7. Describa la regulación nerviosa de la micción diferenciando la participación del sistema parasimpático, del simpático y del somático.

8. Relacione el sistema urinario con los sistemas cardiovascular y endocrino, explicando de qué modo depende de ellos y de qué modo los regula.

9. Explique qué información aporta el análisis bioquímico de la orina y por qué constituye una herramienta diagnóstica de primer nivel.

Reflexión e integración

10. Argumente por qué la tasa de filtración glomerular se emplea como indicador global de la función renal y qué implicaciones tiene su descenso para la dosificación de los medicamentos.

11. Analice el papel de los biomarcadores descritos en el capítulo en la detección precoz del daño renal y compare su utilidad con la de los parámetros clásicos.

12. Integre estructura y función explicando de qué modo la organización del riñón en corteza y médula, junto con la disposición de las nefronas, hace posible concentrar la orina y conservar agua.

CAPÍTULO VIII

8. SISTEMA DIGESTIVO

8.1 Anatomía del sistema digestivo

El sistema digestivo constituye un conjunto organizado de órganos cuya función principal es transformar los alimentos en moléculas absorbibles y eliminar los residuos no digeridos. Desde el punto de vista anatómico, está formado por el tubo digestivo que se extiende desde la cavidad oral hasta el ano y por órganos accesorios que contribuyen a la digestión mediante secreciones especializadas. Esta organización estructural permite la ejecución coordinada de procesos mecánicos y químicos esenciales para la nutrición y el mantenimiento de la homeostasis (Tortora & Derrickson, 2020).

El tubo digestivo comprende la boca, faringe, esófago, estómago, intestino delgado e intestino grueso, cada uno con características histológicas y funcionales específicas que favorecen la digestión y absorción de nutrientes. La boca inicia la digestión mecánica y química mediante la masticación y la acción de la amilasa salival; el esófago transporta el bolo alimenticio a través de movimientos peristálticos; el estómago participa en la digestión mediante secreciones como ácido clorhídrico y pepsinógeno; y el intestino delgado constituye el principal sitio de absorción gracias a su amplia superficie interna con vellosidades y microvellosidades (Hall, 2021). Por su parte, el intestino grueso interviene en la reabsorción de agua y electrolitos y en la formación de las heces.

Los órganos accesorios hígado, páncreas y vesícula biliar completan este proceso. El hígado produce bilis y participa en funciones

metabólicas esenciales; el páncreas ejerce funciones exocrinas y endocrinas; y la vesícula biliar almacena y libera bilis hacia el duodeno para facilitar la digestión de lípidos (Guyton & Hall, 2021). La comprensión detallada de la anatomía digestiva es fundamental para la práctica clínica, ya que permite correlacionar la estructura con la función, identificar alteraciones patológicas y orientar intervenciones terapéuticas adecuadas.

El sistema digestivo es una red compleja de órganos que se encarga de dos funciones principales. Estos órganos incluyen la boca, esófago, estómago, intestinos, hígado, páncreas y vesícula biliar, organizados anatómicamente desde la cavidad oral hasta el ano (*Figura 61*). Comprender su anatomía es fundamental para los profesionales de la salud, ya que permite localizar estructuras, diagnosticar enfermedades y aplicar tratamientos adecuados. Los órganos trabajan de forma coordinada para descomponer los alimentos y absorber nutrientes (Tortora & Derrickson, 2020).

8.1.1 Desarrollo teórico

8.1.1.1 Componentes principales del sistema digestivo

Tabla 2. Componentes principales del sistema digestivo humano

Estructura	Función Principal
Boca	Inicio de la digestión mecánica y química
Faringe	Conduce el bolo alimenticio al esófago
Esófago	Transporta el alimento al estómago
Estómago	Digestión química y mecánica
Intestino delgado	Absorción de nutrientes
Intestino grueso	Absorción de agua y formación de heces
Hígado	Produce bilis para la digestión de grasas
Páncreas	Secreta enzimas digestivas

Vesícula biliar	Almacena y libera bilis

Nota. Esta tabla resume los órganos principales del sistema digestivo, clasificando su función de la digestión, absorción y procesamiento de nutrientes.

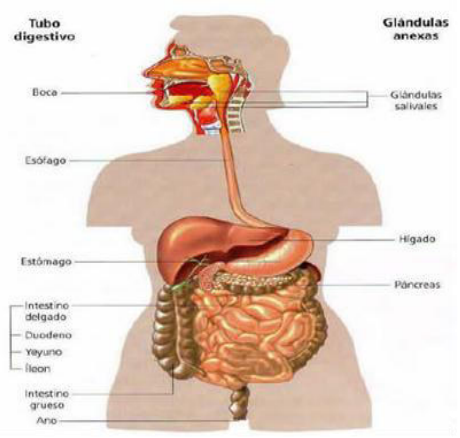


Figura 61. Sistema Digestivo.

Fuente: Partes del Sistema Digestivo, Blog de Biología. (2015).

8.1.1.2 Boca y cavidad oral

Incluye estructuras como dientes, lengua y glándulas salivales.

Enzima clave: *amilasa salival*.

8.1.1.3 Esófago

Conducto muscular con movimientos peristálticos.

Posee esfínteres superior e inferior que previenen el reflujo.

8.1.1.4 Estómago

Regiones: cardias, fondo, cuerpo y píloro.

Secreciones: ácido clorhídrico, pepsinógeno, moco.

8.1.1.5 Intestino delgado

Dividido en duodeno, yeyuno e íleon.

Mayor sitio de absorción de nutrientes.

8.1.1.6 Intestino grueso

Incluye ciego, colon, recto y ano.

Participa en la reabsorción de agua y electrolitos.

8.1.1.7 Órganos accesorios

Hígado: produce bilis, almacena glucógeno.

Páncreas: exocrino (enzimas) y endocrino (insulina, glucagón).

Vesícula biliar: almacena y libera bilis al duodeno.

8.2 Fisiología del sistema digestivo

La fisiología del sistema digestivo estudia los mecanismos mediante los cuales el organismo transforma los alimentos en moléculas simples capaces de ser absorbidas y utilizadas para la producción de energía, la síntesis de biomoléculas y el mantenimiento de la homeostasis. Este proceso implica una secuencia coordinada de eventos que incluyen la ingestión, la propulsión del bolo alimenticio, la digestión mecánica y química, la absorción de nutrientes y la eliminación de desechos. La integración funcional de estos mecanismos garantiza el adecuado aprovechamiento de los macronutrientes y micronutrientes esenciales para la vida (Guyton & Hall, 2021).

La digestión mecánica, iniciada con la masticación y continuada mediante los movimientos peristálticos y de mezcla, facilita la fragmentación del alimento y su exposición a enzimas digestivas.

Paralelamente, la digestión química depende de secreciones especializadas, como la amilasa salival en la cavidad oral, el ácido clorhídrico y la pepsina en el estómago, y las enzimas pancreáticas y biliares en el intestino delgado, que degradan carbohidratos, proteínas y lípidos en unidades estructurales absorbibles (Hall, 2021; Tortora & Derrickson, 2020).

La regulación de estas funciones está mediada por un complejo sistema de control nervioso y hormonal. El sistema nervioso entérico coordina de manera local la motilidad y las secreciones gastrointestinales, mientras que el sistema nervioso autónomo modula su actividad. A nivel endocrino, hormonas como la gastrina, la secretina y la colecistoquinina (CCK) ajustan la secreción de jugos digestivos y el vaciamiento gástrico en respuesta a la composición del contenido luminal (Guyton & Hall, 2021).

La absorción intestinal, principalmente en el yeyuno e íleon, cierra el proceso digestivo. La presencia de vellosidades y microvellosidades multiplica la superficie de absorción, permitiendo el transporte activo de glucosa y aminoácidos hacia la sangre, así como la absorción de lípidos en forma de quilomicrones hacia la linfa. El conocimiento detallado de estos procesos es fundamental para comprender la fisiopatología de trastornos digestivos y fundamentar estrategias diagnósticas y terapéuticas adecuadas.

La fisiología del sistema digestivo abarca el estudio de los procesos mediante los cuales el organismo transforma los alimentos en nutrientes absorbibles, esenciales para el mantenimiento de la vida y la homeostasis. Estos procesos incluyen la digestión mecánica y química,

la absorción, y la regulación nerviosa y hormonal de las funciones gastrointestinales. (*Figura 62*). Comprender estos mecanismos resulta clave para el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades digestivas (Guyton & Hall, 2021).



Figura 62. Sistema Digestivo.

Fuente: López (2025).

8.2.1 Desarrollo teórico

8.2.1.1 Procesos básicos de la digestión los principales procesos son:

- Ingestión
- Propulsión (deglución y peristalsis)
- Digestión mecánica
- Digestión química
- Absorción
- Eliminación

8.2.1.2 Regulación nerviosa y hormonal

Sistema nervioso entérico: controla peristalsis y secreciones locales.

Sistema nervioso autónomo: modula la actividad del sistema entérico.

Hormonas clave: gastrina, secretina, colecistoquinina (CCK), grelina.

8.2.1.3 Digestión mecánica y química por segmentos

Tabla 3. Procesos fisiológicos clave por segmento del tubo digestivo

Región	Proceso fisiológico clave	Enzimas involucradas
Boca	Masticación, saliva	Amilasa salival
Estómago	Mezcla, secreción gástrica	Pepsina, HCl
Duodeno	Digestión química intensa	Amilasa, lipasa, tripsina
Yeyuno e íleon	Absorción de nutrientes	Transporte activo, difusión

Nota. Esta tabla resume los procesos digestivos que ocurren en distintas regiones del tracto gastrointestinal, junto con las principales enzimas involucradas en cada uno.

8.2.1.4 Absorción intestinal

Carbohidratos: glucosa y galactosa por cotransporte con Na^+.

Proteínas: péptidos y aminoácidos por transporte activo.

Lípidos: emulsificación por bilis → micelas → quilomicrones → linfa.

8.3 Bases bioquímicas y enfoque farmacéutico del sistema digestivo

El estudio del sistema digestivo desde un enfoque bioquímico y farmacéutico permite comprender que sus funciones trascienden la simple anatomía y fisiología descriptiva, integrando complejos procesos moleculares responsables de la degradación, transformación y absorción de nutrientes. La digestión implica una secuencia coordinada de

reacciones enzimáticas específicas que dependen de condiciones óptimas de pH, disponibilidad de cofactores y adecuada regulación neuroendocrina, garantizando así la homeostasis metabólica del organismo (Champe, Harvey & Ferrier, 2014; Murray et al., 2021).

Desde la perspectiva bioquímica, los macronutrientes carbohidratos, proteínas y lípidos son sometidos a hidrólisis progresiva mediante enzimas especializadas, producidas por glándulas salivales, estómago, páncreas e intestino delgado, cuyos mecanismos de acción están finamente regulados por señales hormonales y nerviosas (Guyton & Hall, 2021). La alteración de estos procesos puede generar desequilibrios nutricionales y metabólicos, así como diversas patologías gastrointestinales.

En el ámbito farmacéutico, el conocimiento de la fisiología y bioquímica digestiva resulta esencial para comprender el mecanismo de acción de fármacos que modifican la secreción ácida, la motilidad intestinal o la absorción de sustancias. Medicamentos como los inhibidores de la bomba de protones, antagonistas H_2, antidiarreicos y laxantes actúan sobre blancos moleculares específicos del tracto gastrointestinal, lo que evidencia la estrecha relación entre la bioquímica digestiva y la terapéutica clínica (Brunton et al., 2018).

De esta manera, el presente capítulo integra los fundamentos bioquímicos de la digestión con su aplicación farmacológica, destacando la importancia del conocimiento molecular para la práctica clínica racional y el manejo adecuado de las enfermedades digestivas.

El sistema digestivo no solo cumple funciones anatómicas y fisiológicas, sino que también involucra procesos bioquímicos

esenciales para la degradación de macronutrientes y la absorción de micronutrientes (*Figura 63*). Estos procesos dependen de enzimas específicas, condiciones de pH controladas y la presencia de cofactores, cuya regulación es clave para la homeostasis metabólica. Además, la farmacología digestiva estudia el uso de fármacos que modifican la secreción, la motilidad y la absorción intestinal, con aplicaciones clínicas en patologías como la acidez gástrica, el síndrome de intestino irritable y las dispepsias funcionales (Champe, Harvey & Ferrier, 2014).

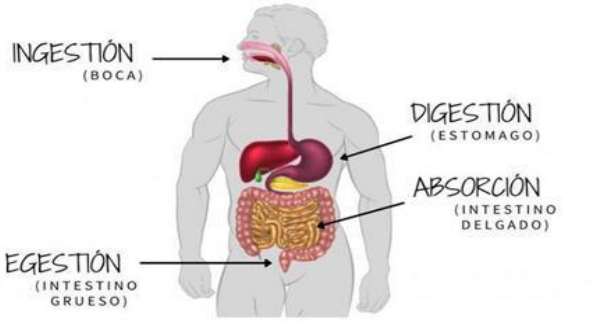


Figura 63. Etapas de la Digestión.

Fuente: Cruz (2021).

8.3.1 Desarrollo teórico

8.3.1.1 Digestión bioquímica de macronutrientes

Carbohidratos: almidón → maltosa → glucosa (enzimas: amilasa, maltasa).

Proteínas: proteínas → péptidos → aminoácidos (pepsina, tripsina, peptidasas).

Lípidos: triglicéridos → ácidos grasos + monoglicéridos (lipasa pancreática, bilis).

8.3.1.2 Enzimas digestivas y su ph óptimo

Tabla 4. Enzimas digestivas y su pH óptimo.

Enzima	Órgano productor	pH óptimo	Sustrato
Amilasa salival	Glándulas salivales	6.7	Almidón
Pepsina	Estómago	1.5 – 2	Proteínas
Lipasa pancreática	Páncreas	8.0	Triglicéridos

Nota. Las enzimas digestivas actúan eficientemente dentro de un rango específico de pH. Esta tabla muestra su origen, función y condiciones ideales de actividad.

8.3.1.3 Fármacos digestivos comunes y su acción

Tabla 5. Principales fármacos digestivos y su acción terapéutica.

Fármaco	Acción	Aplicación clínica
Omeprazol	Inhibidor de la bomba de protones	Úlceras gástricas, reflujo
Loperamida	Disminuye motilidad intestinal	Tratamiento de diarrea aguda
Ranitidina	Antagonista H_2	Reflujo, gastritis
Lactulosa	Laxante osmótico	Tratamiento de estreñimiento.

Nota. Los fármacos listados actúan sobre diferentes mecanismos fisiológicos para aliviar síntomas o tratar condiciones del sistema digestivo.

8.3.1.4 Relación con enfermedades digestivas

Alteraciones bioquímicas como intolerancias (lactosa, gluten).

Uso racional de fármacos digestivos y sus efectos adversos.

8.4 Aplicaciones clínicas

Caso clínico 1. Hemorragia gastrointestinal alta con compromiso hemodinámico

1. Contextualización y presentación clínica

El paciente presenta un cuadro clínico de **hemorragia gastrointestinal alta**, evidenciado por **hematemesis** (vómito con sangre) y **melena** (heces negras), acompañado de signos de **hipovolemia** como taquicardia, hipotensión ortostática y palidez mucocutánea. La **endoscopia digestiva alta** confirma la presencia de una **úlcera gástrica sangrante**, sin evidencia de varices esofágicas ni lesiones malignas, lo que descarta otras posibles causas del sangrado.

El paciente también tiene antecedentes de **hipertensión arterial esencial**, con control irregular, lo cual puede haber contribuido al compromiso hemodinámico inicial. El tratamiento se enfocó en la **estabilización con líquidos intravenosos y transfusiones**, manejo endoscópico hemostático, y terapia farmacológica basada en **inhibidores de bomba de protones (IBP)**, antibióticos, agentes hemostáticos, antieméticos y protectores gástricos.

Este caso clínico refleja la importancia de un enfoque multidisciplinario, donde la coordinación entre medicina interna, gastroenterología, enfermería y farmacia clínica es clave para evitar complicaciones, estabilizar al paciente y prevenir futuras recurrencias.

2. Evaluación diagnóstica

El paciente presenta un cuadro compatible con hemorragia gastrointestinal alta, evidenciado por hematemesis y melena,

acompañado de signos clínicos de hipovolemia como palidez, taquicardia e hipotensión ortostática. La endoscopia digestiva alta revela una úlcera gástrica sangrante de base visible, sin compromiso varicoso ni lesiones tumorales. El paciente tiene antecedentes de hipertensión arterial esencial, controlada parcialmente con tratamiento farmacológico irregular.

Se establece el diagnóstico de hemorragia digestiva alta secundaria a úlcera gástrica complicada, en el contexto de hipertensión esencial grado II, lo cual puede haber contribuido al deterioro hemodinámico inicial. El manejo incluyó estabilización con líquidos intravenosos, transfusión de hemoderivados, tratamiento endoscópico hemostático, e inicio de inhibidores de bomba de protones. Se reforzó el control de la presión arterial con ajuste farmacológico y seguimiento por medicina interna.

3. Abordaje terapéutico y farmacológico

Tabla 6. Tratamiento farmacológico.

Fármaco	Dosis y Vía	Mecanismo de Acción / Observaciones
Cloruro de Sodio 0.9%	1000 ml IV (90 ml/h)	Reposición de líquidos y electrolitos.
Omeprazol / Esomeprazol	40 mg IV día / 40 mg VO c/12h	Inhibidor de bomba de protones; reduce secreción ácida.
Ácido Tranexámico	1 g IV c/8h	Antifibrinolítico; coadyuvante en la disminución de sangrado.
Ondansetrón	8 mg IV c/8h	Antiemético antagonista 5-HT3.
Ciprofloxacino	400 mg IV inicial, luego 200 mg c/12h	Antibiótico de amplio espectro (Quinolona).
Rifaximina	550 mg VO c/8h (10 días)	Antibiótico de acción local intestinal.
Pinaverio + Dimeticona	VO c/12h (10 días)	Combinación de espasmolítico y antiflatulento.
Bactocilina	100 mg VO c/6h (3 días)	Antibiótico quinolona.

Diosmectita (Smecta)	1 sobre VO c/8h (3 días)	Antidiarreico y protector de la mucosa intestinal.
Diosmina + Hesperidina	VO después de comidas	Vasoprotector venoso para insuficiencia o hemorroides.
Racecadotrilo (Hidrasec)	100 mg VO c/6h	Antidiarreico; reduce la hipersecreción intestinal.
Metoclopramida	10 mg IV c/8h	Antiemético y procinético para vaciamiento gástrico.
Metronidazol	500 mg IV c/12h	Antibiótico y antiparasitario contra anaerobios.

Nota. El esquema farmacológico presentado corresponde al caso clínico analizado y se incluye exclusivamente con fines académicos. Las dosis, vías e intervalos de administración deben individualizarse según la condición clínica, función renal y hepática, comorbilidades, interacciones farmacológicas y guías terapéuticas vigentes.

4. Consideraciones bioquímico-farmacéuticas

Desde el punto de vista farmacéutico, este paciente requiere una intervención activa, centrada en la **seguridad, eficacia y adherencia terapéutica**, considerando sus antecedentes y la complejidad del tratamiento instaurado:

1. Educación del paciente

Explicación detallada sobre el uso de medicamentos como **Esomeprazol, Rifaximina, Smecta, Bactocilina y Bromuro de Pinaverio/Dimeticona**.

Promoción de una dieta **blanda, sin lácteos**, y recomendaciones sobre **autocontrol de signos vitales**, especialmente la presión arterial.

Información clara sobre los medicamentos usados durante la hospitalización, su vía de administración, propósito y duración del tratamiento (ej. Omeprazol IV, Ácido Tranexámico, Ciprofloxacino, etc.).

2. Seguimiento terapéutico

Evaluación continua de los síntomas: **disminución del número de deposiciones, control del dolor abdominal y estabilización hemodinámica**.

Análisis de **resultados de laboratorio** para detectar anemia, alteraciones electrolíticas, o daño hepático/renal.

Identificación de necesidad de ajustes terapéuticos basados en evolución clínica y parámetros bioquímicos.

3. Prevención de efectos adversos

Verificación de antecedentes de **alergia al Tramadol** u otros fármacos.

Identificación oportuna de reacciones adversas (por ejemplo, intolerancia a antieméticos como **Ondansetrón**, el cual fue suspendido en la evolución).

Evaluación de la tolerancia gastrointestinal a antibióticos y gastroprotectores.

4. Mejora del cumplimiento del tratamiento

Simplificación del esquema terapéutico post-alta para facilitar la **adherencia**.

Entrega de **instrucciones claras, escritas** sobre dosis, frecuencia y forma de administración.

Sugerencia del uso de **recordatorios visuales** como pastilleros, alarmas o aplicaciones móviles.

5. Optimización farmacológica

Ajustes de formulación (líquidos en lugar de sólidos si persisten molestias gástricas).

Detección de posibles **interacciones farmacológicas**, por ejemplo, entre **antihipertensivos y antibióticos** o entre los medicamentos gastrointestinales.

Participación en la **desescalada antibiótica** (como la suspensión o ajuste del **Ciprofloxacino** y **Metronidazol**) en base a evolución clínica y guías terapéuticas actualizadas.

5. Rol del bioquímico farmacéutico

Rol del Farmacéutico

El farmacéutico desempeña un papel clave en el tratamiento de este paciente con hemorragia gastrointestinal y antecedentes de hipertensión, contribuyendo en varias áreas:

1. Educación al paciente

Explica la importancia de la adherencia terapéutica y correcta administración de fármacos como Esomeprazol, Rifaximina, Bactocilina, Smecta y Bromuro de Pinaverio/Dimeticona.

Refuerza medidas dietéticas (blanda, sin lácteos) y controles de signos vitales.

Informa sobre los fármacos parenterales usados en hospitalización (ej. Omeprazol, Ciprofloxacino, Ácido Tranexámico, etc.).

2. Seguimiento del tratamiento

Monitorea síntomas y evolución (disminución de diarreas, control de PA).

Revisa exámenes de laboratorio clave (hemoglobina, hematocrito, electrolitos, función renal/hepática).

Verifica efectividad terapéutica y propone ajustes si es necesario.

3. Prevención de efectos adversos

Verifica antecedentes de alergias (como al Tramadol).

Previene la administración de medicamentos contraindicados.

Identifica reacciones adversas y sugiere alternativas si aparecen (ej. ajuste por suspensión de Ondansetrón).

4. Mejora del cumplimiento terapéutico

Colabora en simplificar el régimen posalta.

Entrega instrucciones escritas y claras.

Sugiere uso de pastilleros o alarmas para mejorar adherencia.

5. Optimización farmacológica

Ajusta dosis o formulaciones si hay dificultad para tragar o alteración de función hepática/renal.

Detecta y previene interacciones (como entre antihipertensivos y gastroprotectores).

Participa en la desescalada antibiótica (Ciprofloxacino) según evolución clínica y guías.

6. Claves de aprendizaje

- La hemorragia digestiva alta se manifiesta por hematemesis y melena porque la sangre recorre el tubo digestivo y se transforma en él: el signo revela la localización.

- La reposición de volumen precede a cualquier otra medida cuando hay compromiso hemodinámico.
- Un esquema con numerosos fármacos simultáneos multiplica el riesgo de interacción: la conciliación y la revisión del tratamiento son imprescindibles.

Caso clínico 2. Hemorragia gastrointestinal alta en paciente con descompensación metabólica

1. Contextualización y presentación clínica

El caso clínico corresponde a un paciente masculino diagnosticado con hemorragia gastrointestinal alta, probablemente causada por úlcera gástrica o duodenal, en el contexto de una diabetes mellitus tipo 1 mal controlada, que ha llevado a complicaciones adicionales como náuseas, vómito persistente y signos de hipovolemia (palidez, taquicardia, hipotensión).

Este cuadro clínico sugiere una descompensación metabólica, posiblemente agravada por el uso crónico de antiinflamatorios no esteroideos (AINEs), **gastropatía diabética** o estrés fisiológico. El manejo incluye **estabilización hemodinámica**, **corrección de desequilibrios electrolíticos y metabólicos**, control estricto de glicemia y preparación para **endoscopía digestiva alta** para confirmar la causa del sangrado.

Los diagnósticos clínicos según CIE-10 refuerzan el enfoque: hemorragia gastrointestinal no especificada (K92.2), úlcera gástrica aguda con hemorragia (K25.0), diabetes tipo 1 (E10.9), y náuseas y vómito (R11). El tratamiento farmacológico incluye una combinación

de inhibidores de la bomba de protones (omeprazol), antieméticos (ondansetrón, metoclopramida), protectores gástricos, manejo de la hipertensión, hidratación y terapia insulínica.

2. Evaluación diagnóstica

Hemorragia gastrointestinal alta secundaria a posible úlcera gástrica o duodenal, en paciente con diabetes mellitus tipo 1 insulinodependiente, con síntomas asociados de náuseas y vómito persistente.

Descripción clínica

Se trata de un paciente con diagnóstico previo de diabetes mellitus tipo 1, insulinodependiente desde hace varios años, con pobre control glucémico en controles recientes. Consulta por episodios recurrentes de náuseas y vómito, acompañados de hematemesis (vómito con sangre) y/o melena (heces negras), lo que sugiere una hemorragia gastrointestinal alta.

A la evaluación física se observa palidez mucocutánea, taquicardia e hipotensión leve, compatibles con pérdida de volumen. Se sospecha etiología relacionada a úlcera péptica o gastritis erosiva, posiblemente asociada a gastropatía diabética, uso crónico de AINEs o estrés metabólico. El paciente requiere estabilización hemodinámica, corrección del desequilibrio electrolítico y metabólico, control glucémico estricto y estudio endoscópico para determinar la causa y extensión del sangrado.

Diagnósticos médicos codificados (CIE-10):

K92.2 – Hemorragia gastrointestinal no especificada.
E10.9 – Diabetes mellitus tipo 1 no especificada.

R11 – Náuseas y vómito.

K25.0 – Úlcera gástrica aguda con hemorragia (sospecha etiológica primaria).

3. Abordaje terapéutico y farmacológico

Tabla 7. Tratamiento farmacológico

Fármaco	Dosis y Vía	Mecanismo de Acción / Observaciones
Omeprazol	200 mg / 40 mg IV	IBP que reduce secreción ácida gástrica. Bloquea H+/K+ ATPasa.
Metoclopramida	10 mg IV c/8h	Antiemético/procinético. Antagonista D2, mejora vaciamiento gástrico.
Ondansetrón	4 mg SL o IV c/8h	Antiemético. Antagonista 5-HT3, previene náuseas y vómitos.
Alginato + Bicarbonato	10 ml VO c/8h	Antiácido. Forma barrera gástrica y neutraliza acidez.
Sucralfato	5 ml VO c/6h	Protector gástrico. Forma capa sobre mucosa dañada.
Dextrosa al 5%	500 cc 24 h IV	Aporte energético e hidratación. Glucosa utilizable celularmente.
Labetalol	20 mg IV + 400 mg en 160 cc	Antihipertensivo alfa/beta bloqueador. Disminuye TA y FC (a 30 ml/h).
Insulina rápida	Según corrección	Facilita entrada de glucosa a células. Acción rápida (0.5-2.5 h).
Candesartán	32 mg VO/día	ARA II. Bloquea angiotensina II, efecto vasodilatador.
Bisoprolol/Amlodipino	5/10 mg VO/día	Antihipertensivo combinado. Betabloqueador + antagonista de calcio.

Nota. El tratamiento farmacológico descrito corresponde al caso clínico presentado y se muestra con fines académicos. Su aplicación clínica requiere valoración individual del paciente, ajuste según función renal y hepática, comorbilidades, posibles interacciones y seguimiento conforme a las guías terapéuticas vigentes.

Consideraciones farmacéuticas: Desde el enfoque farmacéutico, este caso clínico requiere intervenciones continuas, personalizadas y

multidisciplinarias para asegurar un tratamiento efectivo, seguro y bien tolerado. Las principales consideraciones son:

Educación farmacológica al paciente

1. Enseñar la correcta administración de medicamentos, especialmente insulina, omeprazol y antieméticos.
2. Aclarar la importancia de mantener la **adherencia** al tratamiento en enfermedades crónicas como la diabetes e hipertensión.
3. Indicar la necesidad de una dieta **blanda, hiposódica y libre de irritantes gástricos**.

Seguimiento farmacoterapéutico

1. Realizar revisión continua del tratamiento para identificar duplicidades, interacciones y medicamentos potencialmente inadecuados.
2. Monitorear constantes vitales, glicemia capilar (pre y postprandial), y parámetros de función renal (urea, creatinina, electrolitos), especialmente por la **vulnerabilidad renal del paciente**.

Prevención de efectos adversos

1. Verificar antecedentes de alergias medicamentosas (como a complejo B o antibióticos no especificados).
2. Evaluar medicamentos con potencial **nefrotóxico** o que puedan afectar la mucosa gástrica.
3. Garantizar el uso seguro de antieméticos y antihipertensivos según respuesta individual del paciente.

Optimización del régimen terapéutico

1. Proponer esquemas simplificados para mejorar adherencia tras el alta.
2. Recomendar **uso de pastilleros, alarmas o apps móviles**.
3. Acompañar en el ajuste de dosis de insulina y capacitar en su uso, así como en el monitoreo de signos de hipoglucemia.

Intervención colaborativa e integral

1. Participar activamente en la **conciliación de medicamentos** en cada fase asistencial (ingreso, hospitalización y alta).
2. Coordinar con el equipo médico (gastroenterólogo, internista, endocrinólogo) para asegurar decisiones terapéuticas centradas en el paciente.

4. Rol del bioquímico farmacéutico

El paciente, de 43 años, presenta hipertensión, diabetes tipo II, enfermedad renal crónica en diálisis, antecedentes de amputación por pie diabético, hemorragia gastrointestinal y síndrome emético. Dada su complejidad clínica, el rol del farmacéutico es fundamental para optimizar el tratamiento.

Educación del paciente

Explicar la función, dosis y administración de medicamentos (Insulina, Omeprazol, Metoclopramida, Sucralfato, etc.).

Enseñar la importancia de la adherencia terapéutica, especialmente para diabetes e hipertensión.

Instruir sobre dieta blanda e hiposódica, y signos de alarma (vómito oscuro, melenas, hipoglucemia, etc.).

Seguimiento terapéutico

Revisar la medicación para detectar duplicidades o interacciones (ej. antihipertensivos y su efecto renal).

Monitorear parámetros clave: presión arterial, glucemia, electrolitos, urea y creatinina.

Ajustar dosis según función renal, en coordinación con el equipo médico.

Prevención de efectos adversos

Verificar alergias (complejo B y antibiótico no especificado).

Evaluar nefrotoxicidad y tolerancia gastrointestinal de medicamentos usados.

Asegurar terapia antiemética eficaz y bien tolerada.

Recomendaciones prácticas

Simplificar el régimen terapéutico y asegurar etiquetas claras.

Fomentar el uso de pastilleros, alarmas o apps para recordar tomas.

Capacitar en el manejo de insulina y monitoreo de glucosa.

Coordinar con médicos especialistas y participar en la reconciliación de medicamentos.

5. Claves de aprendizaje

- El uso crónico de antiinflamatorios no esteroideos compromete la barrera protectora de la mucosa gástrica y es un antecedente que debe buscarse activamente.

- La inhibición de la secreción ácida favorece la hemostasia en la lesión gástrica: el mecanismo explica la indicación.
- La descompensación metabólica y la hemorragia se agravan mutuamente; el seguimiento debe abarcar a la vez la glucemia, la presión arterial y la evolución digestiva.

8.5 Resumen

El sistema digestivo se organiza en un tubo continuo —boca, faringe, esófago, estómago, intestino delgado e intestino grueso— al que se asocian órganos accesorios que vierten en él sus secreciones: las glándulas salivales, el hígado, la vesícula biliar y el páncreas. Su finalidad es transformar los alimentos en moléculas lo bastante simples como para atravesar la mucosa y quedar disponibles para las células del organismo. Ese trabajo se reparte entre una digestión mecánica, que comienza con la masticación y continúa con los movimientos peristálticos que mezclan y propulsan el contenido, y una digestión química, en la que las enzimas y secreciones como el ácido clorhídrico o la bilis fragmentan los nutrientes complejos. Ninguna de las dos basta por sí sola: la primera aumenta la superficie sobre la que actúa la segunda.

Esa coordinación no es espontánea. El sistema nervioso entérico, con el concurso del nervio vago, ajusta la motilidad y la secreción a lo largo de todo el trayecto, mientras que un conjunto de hormonas gastrointestinales sincroniza cada etapa con la anterior: la gastrina estimula la secreción ácida del estómago, la secretina promueve la liberación de bicarbonato que neutraliza el quimo cuando alcanza el duodeno y la colecistoquinina desencadena la contracción de la vesícula

biliar junto con la secreción de enzimas pancreáticas. El resultado es que cada enzima encuentra el pH que necesita en el punto exacto del recorrido, un requisito que explica por qué la amilasa salival deja de actuar en el medio ácido del estómago y por qué la pepsina, en cambio, solo resulta eficaz allí.

La absorción se concentra en el intestino delgado, sobre todo en el yeyuno y el íleon, cuya mucosa multiplica su superficie mediante vellosidades y microvellosidades. Los carbohidratos, iniciados por la amilasa salival y continuados por la amilasa pancreática y las enzimas del borde en cepillo, se absorben como monosacáridos. Las proteínas, atacadas por la pepsina en el estómago y por las enzimas pancreáticas en el duodeno, lo hacen en forma de aminoácidos y péptidos pequeños. Los lípidos siguen un camino distinto: exigen la emulsificación previa de la bilis para que la lipasa pancreática pueda actuar, y sus productos se organizan en micelas antes de ser captados por el enterocito y exportados como quilomicrones hacia la vía linfática.

Comprender este entorno bioquímico tiene consecuencias directas para el ejercicio farmacéutico. El pH de cada segmento, la actividad enzimática y la velocidad del tránsito condicionan tanto la disponibilidad de los nutrientes como el comportamiento de los medicamentos administrados por vía oral, y las alteraciones de la secreción o de la motilidad repercuten en el estado nutricional del paciente. Sobre estos mismos mecanismos actúan los fármacos digestivos descritos en el capítulo, que modifican la secreción ácida, la motilidad o la protección de la mucosa. De ahí que su empleo deba responder a criterios de uso racional, valorando el beneficio esperado

frente a las consecuencias de interferir de forma prolongada en un proceso finamente regulado.

8.6 Preguntas de repaso

Opción múltiple

1. La amilasa salival inicia en la boca la digestión de:

A. Las proteínas.

B. Los carbohidratos.

C. Los lípidos.

D. Los ácidos nucleicos.

2. La bilis interviene en la digestión de los lípidos mediante:

A. La hidrólisis directa de los triglicéridos.

B. La neutralización de la pepsina gástrica.

C. La emulsificación, que facilita la acción de la lipasa pancreática.

D. La absorción de los quilomicrones en el íleon.

3. La pepsina requiere un medio ácido porque:

A. Se sintetiza en el páncreas y llega al duodeno ya activada.

B. Su función es digerir carbohidratos en el intestino delgado.

C. Se inactiva en presencia de proteínas.

D. Actúa en el estómago, donde el ácido clorhídrico crea su entorno óptimo.

4. Un inhibidor de la bomba de protones alivia los síntomas del reflujo porque:

A. Disminuye la secreción de ácido clorhídrico gástrico.

B. Aumenta la motilidad del esófago.

C. Neutraliza de forma directa las sales biliares.

D. Estimula la liberación de secretina en el duodeno.

5. La extensa superficie de absorción del intestino delgado se debe a:

A. La longitud del intestino grueso.

B. Las vellosidades y microvellosidades de su mucosa.

C. La presencia de glándulas salivales accesorias.

D. El grosor de su capa muscular externa.

Preguntas abiertas y de aplicación

6. Distinga la digestión mecánica de la digestión química indicando dónde comienza cada una y qué estructuras o sustancias intervienen en ellas.

7. Explique cómo se regula la digestión mediante el sistema nervioso entérico, el nervio vago y las hormonas gastrointestinales descritas en el capítulo.

8. Compare la digestión y la absorción de carbohidratos, proteínas y lípidos, señalando las enzimas implicadas y el destino final de cada macronutriente.

9. Relacione el pH de cada segmento del tubo digestivo con la actividad de las enzimas que actúan en él y explique las consecuencias de una alteración de ese pH.

Reflexión e integración

10. Argumente por qué el conocimiento del pH y de la motilidad gastrointestinal resulta determinante para el diseño y la administración de formas farmacéuticas orales.

11. Analice de qué modo una alteración de la secreción enzimática o de la motilidad puede repercutir en el estado nutricional del paciente, integrando los procesos de digestión y absorción.

12. Desde el uso racional del medicamento, justifique por qué los fármacos que modifican la secreción ácida no deben emplearse de forma indefinida, relacionando su mecanismo con la función fisiológica que suprimen.

CAPÍTULO IX

9. SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO

9.1 Anatomía del sistema musculoesquelético

Según Barone y Szychlinska (2023), el sistema musculoesquelético es el órgano más grande del cuerpo humano, compuesto por estructuras que permiten el soporte, la conexión y el movimiento corporal. Gracias a sus acciones coordinadas podemos realizar tareas cotidianas tan simples como caminar, levantar objetos o el simple hecho de mantenernos de pie. Su importancia radica en conocer no solo la anatomía humana, sino también conocer el funcionamiento de otros sistemas que operan junto a él, como el sistema nervioso y el circulatorio. Además, este conocimiento ayuda en diversas áreas de la medicina, siendo la más importante fisioterapia ya que implica en la rehabilitación del músculo en su totalidad o parcialmente dependiendo de la disfunción musculoesqueléticas.

El sistema musculoesquelético está compuesto principalmente por huesos, como su nombre lo indica, los músculos esqueléticos son aquellos tejidos musculares que se fijan a los huesos mediante los tendones y son los encargados de generar movimiento voluntario. En términos propios, los músculos esqueléticos son aquellos que forman lo que se conoce como carne, ya que son los músculos más visibles y voluminosos del cuerpo humano.

9.1.1 Huesos

El esqueleto humano adulto contiene 206 huesos, compuesto principalmente por tejido óseo, una forma especializada del tejido

conectivo que permite el soporte, la protección y la producción de células sanguíneas. Además de sus funciones mecánicas, los huesos participan en la hematopoyesis a través de la médula ósea y actúan como reservorios minerales, estando compuesto por una fracción mineral, constituida principalmente por fosfato de calcio, y una fracción orgánica en la que predomina el colágeno tipo I. Desde el punto de vista morfológico, los huesos se pueden clasificar en distintos tipos según su forma y función como se detalla en la Tabla 8. Esta clasificación incluye huesos largos, cortos, planos, irregulares y sesamoideos cada uno con características estructurales particulares con ejemplos representativos.

Tabla 8. Clasificación morfológica de los huesos.

TIPO DE HUESO	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	EJEMPLOS
Largos	Forma alargada con diáfisis (parte central) y epífisis (extremos).	Fémur Húmero Radio
Cortos	Equidistantes en largo, ancho y espesor.	Huesos del carpo y tarso
Planos	Delgado y aplanado con una amplia superficie.	Escapula Esternón
Irregulares	Morfología compleja sin patrón definido.	Vertebras Huesos esfenoides
Sesamoideos	Se encuentran en los tendones y reducen la fricción.	Rótula

Fuente: KenHub (https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/huesos)

9.1.2 Músculos

Tejidos musculares que producen fuerza mecánica a través de la transformación de la energía química, histológicamente el tejido muscular se clasifica en tres tipos:

Músculo esquelético: Conectado al esqueleto a través de tendones, lo que permite el movimiento voluntario. Su estructura consiste en células con múltiples fibras multinucleadas con distintas estriaciones cruzadas.

Músculo cardíaco: Exclusivo del miocardio. De control involuntario, y se encuentra regulado por el sistema nervioso autónomo y el sistema de conducción cardiaco.

Músculo liso: Carece de estriaciones. Se localiza en paredes de órganos internos como el intestino, vejiga o vasos sanguíneos y participa en funciones viscerales involuntarias como la motilidad intestinal y la vasoconstricción.

9.1.3 Articulaciones

Estructuras especializadas que conectan dos o más huesos, permitiendo o restringiendo el movimiento entre ellos. Se clasifican funcional y estructuralmente.

Desde su clasificación funcional, se distinguen en tres tipos de articulaciones según el rango de movimiento que permiten, como se detalla en la Tabla 9. Estas incluyen la sinartrosis, anfiartrosis y diartrosis.

Tabla 9. Tipos de articulaciones según su movimiento.

TIPO	MOVIMIENTO	EJEMPLO
Sinartrosis	Inmóviles, no existe ningún movimiento entre huesos unidos.	Suturas craneales
Anfiartrosis	Movimiento limitado, pequeña cantidad de movimientos entre los huesos unidos.	Discos intervertebrales
Diartrosis	Gran amplitud de movimiento, amplia gama de movimientos en una o más direcciones.	Hombro Codo Rodilla

Nota. *Los huesos se unen: Tipos de articulaciones en el cuerpo humano.

Fuente: VisibleBody (https://www.visiblebody.com/es/learn/skeleton/joints-and-ligaments).

Cartílago: Presenta menos dureza y más flexibilidad a comparación de los huesos, el cartílago más abundante se llama cartílago hialino. Son las estructuras de soporte para la laringe, une las costillas al esternón y también recubre las articulaciones.

Ligamentos y tendones: Los ligamentos unen a los huesos con huesos en las articulaciones, poseen mayor capacidad de alargamiento conteniendo mayor cantidad de fibras elásticas a comparación de los tendones, por otra parte, los tendones son responsables de unir los músculos del esqueleto con los huesos.

9.1.4 El sistema Esquelético

9.1.4.1 Esqueleto axial

El esqueleto axial forma el eje del cuerpo, brinda soporte, flexibilidad y protege órganos vitales como cráneo y columna vertebral. Ahora, el esqueleto axial está compuesto por:

Tabla 10. Huesos del esqueleto axial.

NOMBRE DEL HUESO	NÚMERO DE HUESOS
Cráneo	29 (Constituido por 8 huesos craneales y 14 faciales)
Columna vertebral	7 cervicales 12 torácicas 5 lumbares 1 sacro
Caja torácica	1coxis 1 esternón 24 costillas
TOTAL	80

Nota. *Axial Skeleton.

Fuente: Cleveland Clinic. (https://my.clevelandclinic.org/health/body/22344-axial-skeleton)

Huesos de la cabeza

"El cráneo propiamente dicho, con forma de caja, consta de ocho grandes huesos planos. Exceptuando dos pares de huesos (el parietal y el temporal), todos los demás son individuales" (Marieb, 2008, p. 145). Sin embargo, el cráneo de forma general consta de ocho huesos planos, con excepción del parietal y temporal los demás son huesos individuales. (Figura 64)

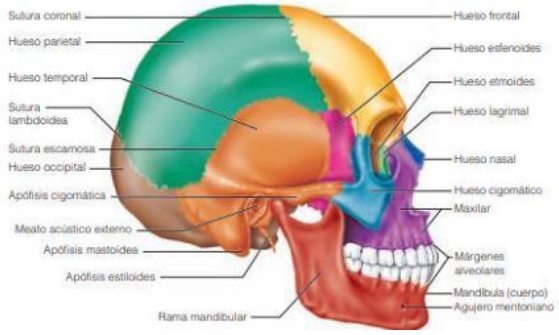


Figura 64. Vista lateral del cráneo humano.

Fuente: Marieb (2008).

Hueso frontal: "El hueso frontal forma la frente, las proyecciones óseas por debajo de las cejas y la parte superior de la órbita de cada ojo" (Marieb, 2008, p. 145).

Huesos temporales: Por debajo de los huesos parietales, así como la mayoría de los huesos del cráneo, estos se unen a través de suturas escamosas (Marieb, 2008, p. 145).

Hueso occipital: Localizado en la parte inferior del cráneo, conforma la parte trasera de la pared esquelética de la cabeza (Marieb, 2008, p. 145). (Figura 65)

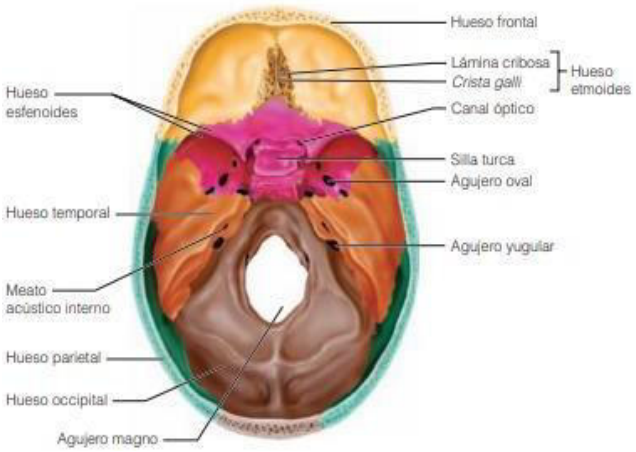


Figura 65. Vista lateral del cráneo humano.

Fuente: Marieb,(2008).

Huesos parietales: Este par de huesos son la estructura de la parte superior y lateral del cráneo, se ubican en el centro de la sutura sagital formando la sutura coronal en la que se encuentra con el hueso frontal (Marieb, 2008, p. 145).

Hueso esfenoides: Presenta forma de mariposa y forma parte del suelo de la cavidad del cráneo. En medio del hueso esfenoides se encuentra la silla turca en la cual descansa la glándula pituitaria (Marieb, 2008, p. 145).

Hueso etmoides: Tiene forma irregular, forma parte del canal nasal y paredes orbitarias. La cresta Galli sirve de soporte y las láminas cribosas permiten el paso de fibras nerviosas olfativas al cerebro (Marieb, 2008, p. 145).

9.1.4.2 Columna vertebral

Vértebras cervicales: Son 7 vértebras cervicales que se identifican como C1- C7 que forman la región del cuello de la columna vertebral. Las dos primeras vertebras que corresponden a atlas que sostiene el cráneo y permite el movimiento de afirmación y axis que permite el movimiento de negación son las dos vertebras diferentes a las demás ya que estas no comparten con otras vértebras cervicales (Marieb, 2008, p. 155).

Vertebras dorsales: También conocida como vertebras torácicas, son 12 vertebras ubicadas en la parte media de la columna, y se denominan T1 a T12, se articulan con las costillas por lo que forman parte de la caja torácica (Marieb, 2008, p. 155).

Vértebras lumbares: Son 5 huesos y llevan la mayor parte de la tensión de la columna vertebral son las vértebras más grandes y fuertes, ya que su función principal es soportar la gran parte del cuerpo humano. (Marieb, 2008, p. 155).

Vertebras sacras: Formado por la fusión de cinco vertebras, que en los adultos forman un solo hueso triangular (Marieb, 2008, p. 155).

Vertebras dorsales: También conocida como vertebras torácicas, son 12 vertebras ubicadas en la parte media de la columna, y se denominan T1 a T12, se articulan con las costillas por lo que forman parte de la caja torácica (Marieb, 2008, p. 155).

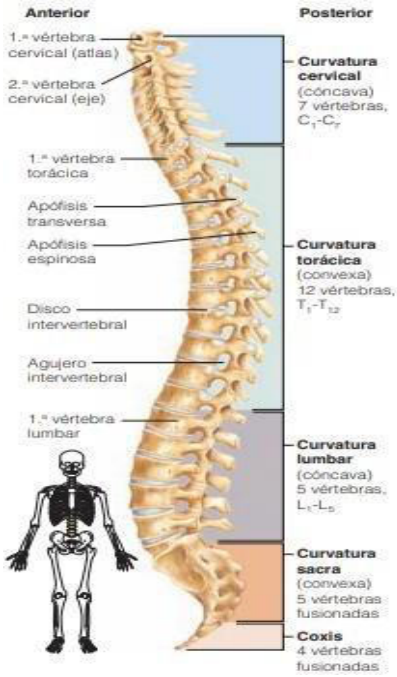


Figura 66. Columna vertebral.

Fuente: Marieb, E. N. (2008).

9.1.4.3 Caja torácica

Esternón: Es un hueso plano resultado de la fusión de tres huesos que está ubicado en el centro del pecho, al cual se unen las costillas por medio de cartílagos costales (Marieb, 2008, p. 157).

El esternón está conformado por 3 marcas óseas:

- **Escotadura yugular:** Se localiza, por lo general, en la altura de la tercera vertebra torácica.

Angulo esternal: Referencia para contar las costillas ubicado en el segundo espacio intercostal para detectar válvulas cardiacas, se extiende desde la unión del manubrio.

Articulación xifiesternal: La zona donde convergen el cuerpo esternal y la apófisis xifoides, localizado en la tercera vertebra torácica

Costillas: Formada por 24 costillas emparejadas, es decir, doce pares de costillas, estas se articulan en la zona posterior de la columna vertebral curvándose hacia abajo en la parte anterior de la superficie de cuerpo (Marieb, 2008, p. 157).

Verdaderas: Conjunto de siete pares de costillas unidas al esternón en consecuencia a los cartílagos costales.

Falsas: Conocidas a los siguientes cinco pares de costillas, se unen al esternón de manera directa.

Flotantes: Los dos últimos pares de costillas no poseen una unión

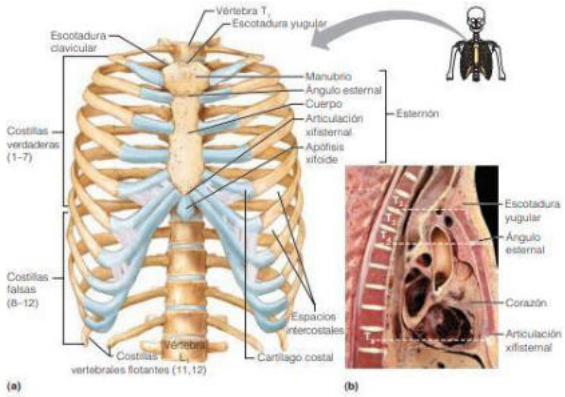


Figura 67. El tórax óseo (caja torácica).

Fuente: Marieb (2008).

9.1.4.4 Huesos del brazo

El sistema esquelético se organiza en estructuras especializadas que permiten el

soporte y la articulación del cuerpo humano, facilitando tanto la protección de órganos como la locomoción.



Figura 68. Vista anterior de los huesos de la mano derecha.

Fuente: Marieb (2008).

En el miembro superior, el brazo se compone del húmero, cuya cabeza proximal articula con la escápula, mientras que el antebrazo integra el radio en posición lateral y el cúbito en el plano medial. Esta complejidad estructural se extiende a la mano, conformada por ocho huesos carpianos, los metacarpianos de la palma y catorce falanges que otorgan movilidad a los dedos (Marieb, 2008, p. 160-162).

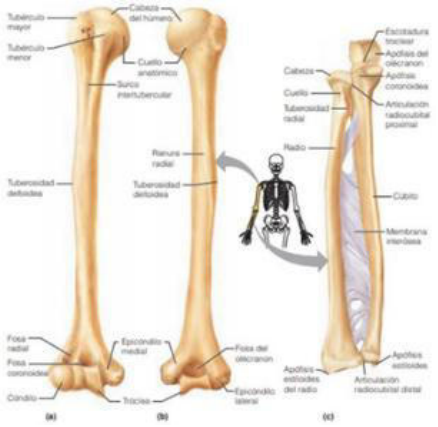


Figura 69. Huesos del brazo y antebrazo derechos.

Fuente: Marieb (2008).

9.1.5 Huesos de la cintura pélvica

La cintura pélvica, integrada por los huesos coxales, sirve de base para los miembros inferiores, destacando el fémur como el hueso más robusto del muslo, el cual articula con la tibia para soportar el peso corporal y conformar la articulación del tobillo (Marieb, 2008, p. 162).

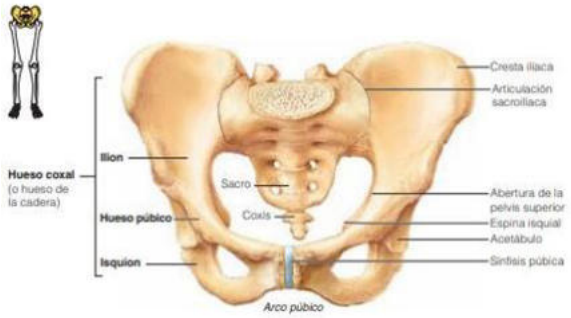


Figura 70. Pelvis Ósea.

Fuente: Marieb (2008).

9.1.6 Huesos inferiores

Fémur: El fémur, hueso del muslo, se dirige medialmente, articula con la tibia y presenta cóndilos separados por fosa intercondilar (Marieb, 2008, p. 164).

Tibia: Hueso medial de la pierna, soporta peso, articula con el fémur y forma parte de la articulación del tobillo.

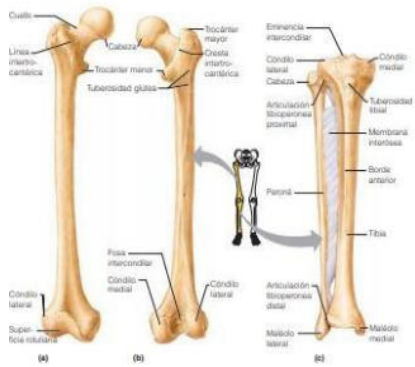


Figura 71. Huesos de muslo.

Fuente: Marieb (2008).

9.1.7 Anatomía básica de los músculos esqueléticos

"Los músculos del cuerpo sólo tienen una función: contraerse, acortarse. Cuando esto ocurre, se produce el movimiento y, por ello, los músculos pueden considerarse como las "máquinas" del cuerpo, cuya movilidad general refleja la actividad de los músculos esqueléticos, los músculos grandes y carnosos que se fijan a los huesos. Su contracción nos permite permanecer erguidos, caminar, saltar, agarrar, lanzar una pelota o sonreír (Marieb, 2008, p. 4).

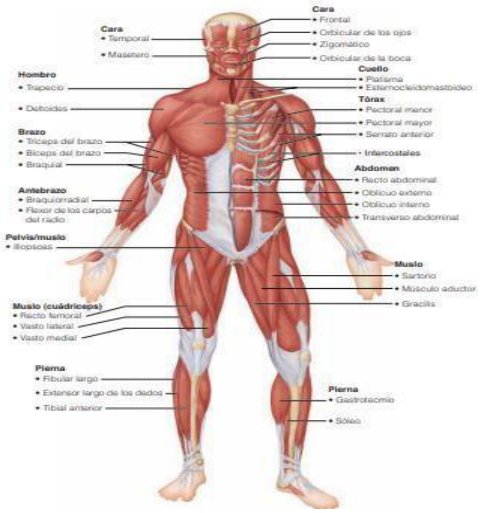


Figura 72. Anatomía del músculo esquelético.

Fuente: Marieb (2008).

Músculos faciales

En la región cefálica y cervical, músculos como el frontal y el orbicular de los ojos permiten la expresión facial y el parpadeo, mientras que el orbicular de la boca y el zigomático coordinan funciones esenciales como la gesticulación y la sonrisa. A continuación, una lista más detallada:

Frontal: Músculo frontal eleva cejas y arruga la frente; occipital mueve cuero cabelludo.

Orbicular de los ojos: El orbicular de los ojos presenta fibras dispuestas en círculos alrededor de los ojos. Nos permite cerrar los ojos, entornarlos, parpadear y hacer guiños (Marieb, 2008, p. 207).

Orbicular de la boca: El orbicular de la boca es el músculo circular de los labios. Debido a que cierra la boca y hace sobresalir los labios, a

menudo se le llama el “músculo del beso” (Marieb, 2008, p. 207) (Figura 9.9).

Zigomático: Músculo que eleva la comisura de los labios para sonreír.

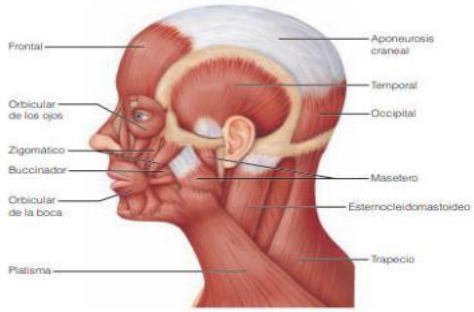


Figura 73. Músculos faciales y del cuello.

Fuente: Marieb (2008).

Músculos del cuello

El control del cuello y la zona superior del tronco recae en el esternocleidomastoideo, responsable de la flexión y rotación cervical, y en el trapecio y deltoides, que estabilizan la escápula y permiten la abducción del brazo, respectivamente.

Esternocleidomastoideo: Los esternocleidomastoideos su función es flexionar y girar el cuello, ubicado lateralmente.

Trapecio: Trapecios originan en occipital y vértebras, mueven escápula, extienden cabeza.

Deltoides: Músculos triangulares del hombro, originan en cintura escapular e insertan en húmero; abducen el brazo.

Músculos de extremidades superiores

En el miembro superior, el bíceps facilita la flexión del antebrazo, mientras que el tríceps actúa como el extensor principal para acciones de empuje.

Bíceps: Músculo del brazo que flexiona y supina el antebrazo.

Tríceps: Su función es extender el brazo, y permite realizar movimientos como empujar o dar un golpe.

Músculos de extremidades inferiores

El glúteo mayor proporciona la potencia necesaria para la extensión de la cadera en actividades como saltar, apoyado por el glúteo medio que garantiza la estabilidad pélvica. Finalmente, los músculos aductores del muslo completan este sistema al permitir el desplazamiento del fémur hacia la línea media, integrando una red neuromuscular que posibilita desde el equilibrio estático hasta la marcha compleja.

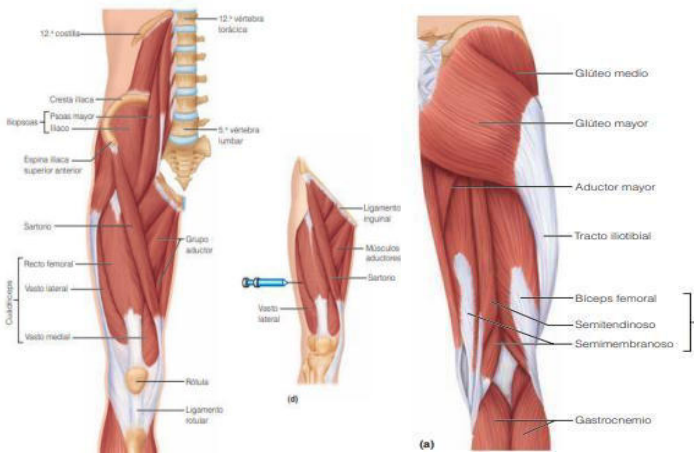


Figura 74. Músculos extremidades inferiores.

Fuente: Marieb (2008).

9.2 Fisiología del sistema musculoesquelético

La fisiología del sistema musculoesquelético estudia los mecanismos mediante los cuales el músculo esquelético genera fuerza y produce movimiento a través de procesos bioeléctricos y bioquímicos altamente coordinados. Este tejido, que constituye una proporción significativa de la masa corporal, es responsable del movimiento voluntario, el mantenimiento de la postura, la estabilidad articular y la producción de calor, funciones esenciales para la homeostasis y la adaptación al entorno (Verges, 2022).

Desde el punto de vista funcional, la contracción muscular es el resultado de una compleja secuencia de eventos que involucran la interacción entre el sistema nervioso y la fibra muscular. Este proceso incluye la transmisión del impulso nervioso en la unión neuromuscular, la liberación de calcio desde el retículo sarcoplásmico y la activación del mecanismo de deslizamiento de los filamentos de actina y miosina

dentro del sarcómero, unidad estructural y funcional del músculo estriado (Padrón, 2008; Moczydlowski, 2017). La teoría del deslizamiento de los filamentos explica cómo el acortamiento del sarcómero produce la contracción sin que los filamentos individuales modifiquen su longitud (Powers, 2021).

Asimismo, el estudio de los distintos tipos de fibras musculares —tipo I, tipo IIa y tipo IIb— permite comprender las diferencias en velocidad de contracción, resistencia a la fatiga y metabolismo energético, aspectos determinantes en la fisiología del ejercicio, la rehabilitación y la medicina deportiva (Braccini, 2021). En conjunto, el análisis fisiológico del sistema musculoesquelético proporciona las bases científicas necesarias para entender tanto el movimiento normal como las alteraciones funcionales que pueden comprometer el rendimiento físico y la salud muscular.

9.2.1 Fisiología del sistema musculoesquelético

El músculo esquelético es parte de todo nuestro cuerpo humano, el cual cumple con diversas funciones dando respuestas aquellos estímulos, de hecho, podemos decir que unas de sus funciones principales es el movimiento, mantenernos con postura y posición corporal. Por otro lado, hay que saber que el músculo esquelético se realiza bajo aquel control voluntario (Verges, 2022).

El músculo esquelético, uno de los tres tipos principales de tejido muscular (junto con el cardíaco y el liso), juega un papel fundamental en el movimiento, la postura, la estabilidad articular y la producción de calor en los organismos animales, incluyendo los humanos.

Representa una parte significativa de la masa corporal y su función está intrínsecamente ligada al sistema nervioso, que controla su contracción. Comprender la fisiología del músculo esquelético es esencial en diversos campos, desde la biología y la medicina deportiva hasta la rehabilitación y la biomecánica.

La contracción del músculo esquelético es un proceso complejo que involucra varios niveles de organización y una secuencia precisa de eventos moleculares (Padrón, 2008).

La hidrólisis del ATP no solo proporciona la energía para el golpe de potencia, sino que su unión a la cabeza de miosina es el evento bioquímico que permite la disociación del complejo actomiosina, evitando el estado de rigor (Nelson & Cox, 2021).

9.2.1.1 Organización del músculo esquelético

Un músculo esquelético está compuesto por haces de fibras musculares llamados fascículos.

Cada fascículo contiene numerosas fibras musculares (células musculares), que son células largas y multinucleadas. La membrana plasmática de una fibra muscular se denomina sarcolema, y el citoplasma se conoce como sarcoplasma.

Dentro del sarcoplasma se encuentran las miofibrillas, estructuras cilíndricas compuestas principalmente por dos tipos de proteínas filamentosas: actina (filamentos delgados) y miosina (filamentos gruesos).

La disposición ordenada de los filamentos de actina y miosina crea unpatrón repetitivo llamado sarcómero, que es la unidad funcional

contráctil del músculo esquelético. Este patrón es responsable de la apariencia estriada del músculo esquelético bajo el microscopio (Moczydlowski, 2017).

El retículo sarcoplásmico (RS) es una red de membranas internas que rodea cada miofibrilla y almacena iones de calcio (Ca), cruciales para la contracción muscular.

El acoplamiento excitación-contracción depende de la interacción física entre los receptores de dihidropiridina (DHPR) en el túbulo T y los receptores de rianodina (RyR1) en la membrana del retículo sarcoplásmico (Boron & Boulpaep, 2016).

Los túbulos T son invaginaciones del sarcolema que penetran profundamente en la fibra muscular y se asocian estrechamente con el RS, formando tríadas. Esta estructura permite la rápida propagación de los potenciales de acción hacia el interior de la fibra muscular (Padrón, 2008).

9.2.1.2 Mecanismo de la contracción muscular (teoría del deslizamiento de los filamentos):

La contracción muscular se basa en la teoría del tamaño de los filamentos, que establece que, durante la contracción, los filamentos delgados de actina se deslizan sobre los filamentos gruesos de miosina, acortando la longitud del sarcómero sin que los filamentos individuales se acorten (Powers, 2021).

Este tamaño es impulsado por la interacción entre las cabezas de miosina y los sitios de unión a la miosina en la actina (Padrón, 2008).

La interacción entre actina y miosina está regulada por dos proteínas asociadas al filamento delgado: tropomiosina y troponina. En estado de reposo, la tropomiosina bloquea los sitios de unión de la miosina en la actina. Para que ocurra la contracción, los iones de calcio (Ca) deben unirse a la troponina, lo que causa un cambio conformacional en el complejo troponina-tropomiosina. Este cambio desplaza la tropomiosina, exponiendo los sitios de unión de la miosina en la actina.

La miosina II funciona como un motor molecular que convierte la energía química en desplazamiento mecánico, donde cada cabeza globular actúa de forma independiente para traccionar los filamentos delgados hacia la zona H **(**Berg et al., 2019).

Una vez que los sitios de unión están expuestos, las cabezas de miosina, que han sido energizadas por la hidrólisis de ATP, se unen a la actina, formando puentes cruzados.

La liberación de fosfato inorgánico (Pi) y luego de ADP de la cabeza de miosina producen un cambio de conformación en la cabeza, lo que genera un golpe de potencia que desliza el filamento de actina hacia el centro del sarcómero.

La unión de una nueva molécula de ATP a la cabeza de miosina causa la liberación del puente cruzado entre la miosina y la actina.

Si hay suficiente Ca^{2+} y ATP disponible, el ciclo de formación, golpe de potencia y liberación de puentes cruzados se repite, lo que resulta en un acortamiento continuo del sarcómero y, por lo tanto, de la fibra muscular y del músculo en su conjunto (Padrón, 2008).

9.2.1.3 Acoplamiento excitación-contracción:

La contracción muscular es iniciada por un potencial de acción que viaja a lo largo de una neurona motora hasta la unión neuromuscular.

En la unión neuromuscular, la neurona motora libera el neurotransmisor acetilcolina (ACh), que se une a los receptores en el sarcolema de la fibra muscular.

La unión de ACh desencadena la despolarización del sarcolema y la generación de un potencial de acción muscular que se propaga a lo largo del sarcolema y hacia el interior de la fibra a través de los túbulos T.

La llegada del potencial de acción a la tríada induce la liberación de Ca^{2+} desde el retículo sarcoplásmico hacia el sarcoplasma.

El aumento de la concentración de Ca 2+ en el sarcoplasma permite la unión del calcio a la troponina, iniciando el ciclo de formación de puentes cruzados y la contracción muscular.

La relajación muscular ocurre cuando el potencial de acción cesa, la ACh es degradada por la enzima acetilcolinesterasa, y el Ca^{2+} es bombeado de vuelta al retículo sarcoplásmico mediante bombas de calcio dependientes de ATP. La disminución de la concentración de Ca^{2+} hace que la tropomiosina bloquee nuevamente los sitios de unión de la miosina en la actina, permitiendo que el músculo se relaje.

La velocidad de relajación muscular es directamente proporcional a la actividad de la ATPasa de calcio del retículo sarcoplásmico (SERCA), la cual transporta activamente el Ca2+ contra su gradiente de concentración (Katz, 2010).

9.2.2 Tipos de fibras musculares esqueléticas

El predominio de vías aeróbicas en las fibras de contracción lenta se debe a una densidad mitocondrial superior y a una mayor concentración de enzimas del ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones (McArdle et al., 2022).

La arquitectura muscular, incluyendo el ángulo de pennación y la longitud de la fibra, determina la capacidad de generación de fuerza y la velocidad de acortamiento del músculo (Lieber, 2010).

Las fibras musculares esqueléticas se clasifican en función de su velocidad de contracción y su resistencia a la fatiga. Los tres tipos principales son:

Fibras de tipo I (lentas u oxidativas): Se contraen lentamente, son resistentes a la fatiga y dependen principalmente del metabolismo aeróbico para la producción de ATP. Son ricas en mioglobina (lo que les da un color rojo), mitocondrias y vasos sanguíneos. Son importantes para mantener la postura y realizar actividades de resistencia (Braccini, 2021).

Fibras de tipo II a (rápidas u oxidativo-glucolíticas): Se contraen rápidamente, tienen una resistencia intermedia a la fatiga y pueden utilizar tanto el metabolismo aeróbico como el anaeróbico para la producción de ATP. Tienen una cantidad moderada de mioglobina y mitocondrias (Braccini, 2021).

Fibras de tipo II b (rápidas o glucolíticas): Se contraen muy rápidamente, se fatigan fácilmente y dependen principalmente del metabolismo anaeróbico (glucólisis) para la producción de ATP. Tienen poca mioglobina y mitocondrias, pero son ricas en enzimas glucolíticas.

Son importantes para movimientos rápidos y potentes de corta duración (Braccini, 2021).

9.3 Bases bioquímicas y enfoque farmacéutico del sistema musculoesquelético

El sistema musculoesquelético constituye la estructura fundamental del cuerpo humano, integrando huesos, músculos, tendones y articulaciones. Esta compleja red no solo permite el movimiento y sostiene el peso corporal, sino que también protege órganos vitales y participa activamente en funciones metabólicas esenciales, como el almacenamiento de minerales y la hematopoyesis. Según Moore et al. (2020), "el sistema esquelético proporciona soporte estructural, protege los órganos internos y actúa como una reserva de minerales esenciales".

Desde una perspectiva bioquímica, el sistema musculoesquelético es escenario de procesos moleculares complejos. La contracción muscular, por ejemplo, depende de la interacción entre actina y miosina, regulada por el calcio y el ATP. Ferrier (2017) destaca que "la contracción muscular es un proceso bioquímico que requiere la interacción precisa de proteínas contráctiles y la disponibilidad de energía en forma de ATP". Además, el remodelado óseo es un proceso dinámico controlado por osteoblastos y osteoclastos, influenciado por hormonas como la parathormona y la calcitonina.

Alteraciones en estos procesos pueden conducir a patologías como la osteoporosis, caracterizada por una disminución de la densidad ósea, o las distrofias musculares, que implican degeneración progresiva del tejido muscular. Estas condiciones reflejan desequilibrios en los

mecanismos bioquímicos que mantienen la integridad del sistema musculoesquelético (Silverthorn, 2018).

El conocimiento bioquímico del sistema musculoesquelético ha permitido el desarrollo de intervenciones farmacológicas específicas. Los antiinflamatorios no esteroideos (AINEs), por ejemplo, actúan inhibiendo las enzimas ciclooxigenasas, reduciendo así la síntesis de prostaglandinas responsables de la inflamación y el dolor. Rang et al. (2016) explican que "los AINEs ejercen su efecto terapéutico principalmente mediante la inhibición de la síntesis de prostaglandinas, lo que reduce la inflamación y el dolor".

En el tratamiento de la osteoporosis, los bifosfonatos son utilizados para inhibir la actividad osteoclástica, disminuyendo la resorción ósea y aumentando la densidad mineral ósea. Además, terapias biológicas como los inhibidores del factor de necrosis tumoral alfa (TNF-α) han mostrado eficacia en enfermedades autoinmunes como la artritis reumatoide, al modular la respuesta inflamatoria del sistema inmunológico (Nelson & Cox, 2021)

La interrelación entre la bioquímica y la farmacología es fundamental para comprender y tratar las enfermedades musculoesqueléticas. Esta integración permite el desarrollo de terapias más eficaces y personalizadas, mejorando los resultados clínicos y la calidad de vida de los pacientes. Como señala Moore et al. (2020), "la comprensión de la anatomía y la fisiología es esencial para el desarrollo de intervenciones terapéuticas efectivas en el sistema musculoesquelético".

9.3.1 Fundamentos bioquímicos de la función muscular

La contracción muscular es un proceso metabólicamente costoso que requiere una regeneración constante de Adenosín Trifosfato (ATP). La bioenergética muscular se sustenta en tres sistemas principales: el sistema de fosfágenos (fosfocreatina), la glucólisis anaeróbica y la fosforilación oxidativa. La miosina II funciona como un motor molecular que convierte la energía química de la hidrólisis del ATP en desplazamiento mecánico, donde cada cabeza globular actúa de forma independiente para traccionar los filamentos delgados hacia la zona H del sarcómero (Berg et al., 2019).

9.3.1.1 Dinámica del calcio y señalización intracelular

El acoplamiento excitación-contracción es un evento bioquímico crítico que depende de la liberación de iones de calcio (Ca^{2+}) desde el retículo sarcoplásmico. Esta liberación es mediada por la interacción física entre los receptores de dihidropiridina (DHPR), localizados en los túbulos T, y los receptores de rianodina (RyR1), situados en la membrana del retículo. El aumento transitorio de calcio citosólico permite su unión a la troponina C, desencadenando el cambio conformacional que expone los sitios de unión en la actina. La velocidad de relajación muscular es, a su vez, directamente proporcional a la actividad de la ATPasa de calcio del retículo sarcoplásmico (SERCA), que bombea activamente el ion contra su gradiente para restaurar el estado de reposo (Boron & Boulpaep, 2016).

9.3.1.2 Metabolismo energético y marcadores bioquímicos

El predominio de las vías aeróbicas en las fibras de contracción lenta se debe a una densidad mitocondrial superior y a una mayor concentración de enzimas del ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones. En contextos de lesión o estrés mecánico excesivo, la liberación de enzimas como la Creatina Quinasa (CK) al torrente sanguíneo sirve como un marcador bioquímico esencial para el diagnóstico de miopatías o daño muscular agudo.

9.3.2 Modulación farmacéutica del sistema musculoesquelético

La farmacología aplicada al sistema muscular se centra principalmente en la modulación de la transmisión sináptica en la unión neuromuscular y en la reducción de la respuesta inflamatoria en los tejidos blandos y articulaciones (Katz, 2010).

9.3.2.1 Agentes de bloqueo neuromuscular

La transmisión en la placa motora terminal depende de la liberación de acetilcolina (ACh) y su posterior unión a receptores nicotínicos. Los bloqueadores neuromusculares se dividen en despolarizantes (como la succinilcolina), que mimetizan la acción de la ACh pero de forma prolongada, y no despolarizantes (como el rocuronio o vecuronio), que actúan como antagonistas competitivos del receptor. Estos fármacos son herramientas fundamentales en anestesiología para inducir parálisis muscular controlada durante intervenciones quirúrgicas complejas (Lieber, 2010)

9.3.3 Farmacoterapia del dolor y la inflamación muscular

El manejo del dolor musculoesquelético se apoya frecuentemente en los Antiinflamatorios No Esteroideos (AINEs). Su mecanismo de acción consiste en la inhibición de las enzimas ciclooxigenasas (COX-1 y COX-2), bloqueando la síntesis de prostaglandinas que sensibilizan a los nociceptores en el sitio de la lesión. Asimismo, el uso de relajantes musculares de acción central, como la ciclobenzaprina, ayuda a reducir el espasmo muscular mediante la depresión de los reflejos polisinápticos en la médula espinal y el tronco encefálico (McArdle et al., 2022)

9.4 Aplicaciones clínicas

Caso clínico 1. Osteoporosis primaria tipo I en paciente con histerectomía previa

1. Contextualización y presentación clínica

Paciente femenina de 59 años con antecedentes de osteoartritis, histerectomía realizada hace 10 años producto de hipermenorrea y fractura de radio en la mano izquierda. Sin diagnóstico previo.

2. Evaluación diagnóstica

Densitometría ósea:

Columna lumbar: T-score –3.1

Cuello femoral: T-score –2.6

Radio distal: No realizado

Laboratorio

Vitamina D: 43. 68 ng/mL

Calcio sérico: 10 mg/dL

Magnesio: 0.73 mg/dL

Proteínas totales: 7.85

Biometría hemática

Hemoglobina: 13 g/dL

Plaquetas: 301.000 mcL

Hematocrito: 44%

FRAX

Riesgo de fractura global: 12%

Riesgo de fractura de cadera: 5.3%

Agregado a ello se realizaron estudios fosfocálcico, fosforo, albúmina, calcio en orina de 24 horas, parathormona (PTH) presentan valores normales.

Diagnóstico

La paciente presenta un cuadro de osteoporosis primaria tipo I, con histerectomía como factor de riesgo adicional y con un riesgo de fractura moderado. Al tener los valores normales de los parámetros se aplicó un tratamiento de denosumab de ampolla de 60 mg de aplicación subcutánea cada 6 meses, se presencia un déficit leve de magnesio. No se aporta suplemento de vitamina D.

Recomendaciones:

- Evaluación odontológica para descartar la presencia de osteonecrosis mandibular.

- Seguir una dieta rica en calcio, vitamina D, vitamina K y proteínas.
- Realizar baños de sol de 20 minutos al día.
- Iniciar ejercicio regular de bajo impacto.
- Evaluar y prevenir caídas domésticas.

Seguimiento:

Se descartó la presencia de osteonecrosis mandibular, no hubo efectos adversos de hipocalcemia. La aplicación de denosumab sigue siendo la misma por los 3 años de tratamiento, se realiza seguimiento anual de densitometría, marcadores de reabsorción (beta CrossLaps) y de formación (fosfatasa alcalina y osteocalcina). Se cita al paciente cada 6 meses para la aplicación del tratamiento.

Importancia del caso

Este caso clínico tiene relevancia porque permite identificar y diagnosticar de manera temprana los síntomas asociados a la osteoporosis primaria tipo I, en especial en pacientes donde hay antecedentes que pueden proporcionar un riesgo adicional como la histerectomía. Debido a la fractura radial de la paciente se pudo alertar de la presencia de esta enfermedad que muchas veces es silenciosa, el uso oportuno de las herramientas de densitometría ósea y la evaluación de riesgo de fractura FRAX permitió establecer un diagnóstico, su tratamiento, prevención y posterior seguimiento.

3. Rol del bioquímico farmacéutico

El bioquímico farmacéutico cumple un rol fundamental en la evaluación y seguimiento de la paciente diagnosticada con osteoporosis tipo I, ya

que su intervención se enfoca en la interpretación de los parámetros bioquímicos clave como lo son: niveles adecuados de vitamina D, calcio sérico y la identificación del déficit del magnesio el cual puede influir en la salud ósea. De igual forma valida el tratamiento con denosumab asegurando su administración segura y continua en el tratamiento cada seis meses, también participa en el monitoreo de marcadores óseos como: beta CrossLap y osteocalcina, su aporte incluye la educación del paciente sobre el tratamiento, hábitos saludables y la colaboración activa del paciente para lograr el manejo eficaz de la enfermedad.

4. Claves de aprendizaje

- La osteoporosis avanza sin síntomas hasta que aparece la fractura: el diagnóstico depende de la densitometría y de la valoración del riesgo.
- El hueso es un tejido en remodelado permanente; el tratamiento actúa sobre ese equilibrio, no sobre una estructura inerte.
- Calcio, vitamina D y magnesio son parámetros de laboratorio que el bioquímico farmacéutico interpreta y sigue a lo largo del tratamiento.

Caso clínico 2. Osteoporosis secundaria con fractura vertebral

1. Contextualización y presentación clínica

Paciente femenina de 69 años, con antecedentes de un diagnóstico previo de osteoartritis de larga evolución, tras varias caídas frecuentes y fractura osteoporótica en ambas muñecas, ha estado en tratamiento con ácido ibandrónico, comprimido mensual que ha ingerido durante 10 años, a su vez, ha recibido tratamiento prolongado con prednisona de 6

mg diarios, como parte del manejo de un cuadro compatible con artritis reumatoide.

Presenta dolor dorsal y lumbar persistente, sin rigidez matutina. Se observa pérdida de estatura mayor de 2 cm, lo que sugiere fractura vertebral. A pesar del tratamiento, la paciente nunca presentó mejoría significativa en la masa ósea y no había recibido previamente suplementación regular con calcio ni vitamina D.

2. Evaluación diagnóstica

Densitometría ósea

Columna lumbar: T-score –2.8

Cuello femoral: T-score –2.2

Radio distal: T-score –1.9

Laboratorio

Vitamina D: 23. 8 ng/mL (déficit moderado)

Calcio sérico: 9.27 mg/dL

Magnesio: 2.0 mg/dL

Presenta función renal con alteración leve.

Biometría hemática: leucocitos 7.000/mm³. Los parámetros hematológicos requieren verificación con el informe original.

Se realizó una radiografía de columna solicitada por dolor y disminución de talla, también para descartar fractura vertebral silenciosa.

Diagnóstico

La paciente presenta un cuadro de osteoporosis secundaria con evidencia de fractura vertebral y antecedentes clínicos de riesgo elevado. El diagnóstico en base a los hallazgos clínicos y tras considerar las historias de caídas recurrentes, se establece el diagnóstico de osteoporosis severa con fractura vertebral por fragilidad debido a la deficiencia de vitamina d, con un alto riesgo de fractura inminente.

3. Abordaje terapéutico y farmacológico

Se suspendió el bifosfonato oral previo por ineficacia y se inició tratamiento con denosumab 60 mg subcutáneo cada 6 meses, debido al alto riesgo de fractura y limitaciones económicas frente a otras opciones como ácido zoledrónico. Se indicó suplementación con vitamina D por al menos 2 meses, hasta alcanzar niveles mayores a 40 ng/mL, antes de continuar el tratamiento antirresortivo, asimismo se recomendó suplementación con calcio diaria

Medidas no farmacológicas

- Ejercicio físico con carga controlada
- Exposición solar regular
- Medidas de prevención de caídas en el hogar

Reevaluación periódica con densitometría ósea y función renal

4. Consideraciones bioquímico-farmacéuticas

En pacientes con masa ósea extremadamente baja, puede considerarse tratamiento con agentes formadores de hueso como teriparatida, seguido secuencialmente por un antirresortivo.

Importancia del caso

Este caso evidencia la relevancia de identificar y tratar adecuadamente la osteoporosis secundaria, en especial en pacientes con uso crónico de corticoides o enfermedades inflamatorias como la artritis reumatoide. A pesar de haber estado en tratamiento por 10 años, la paciente nunca mejoró su densidad ósea por falta de control adecuado de la vitamina D y el seguimiento terapéutico.

La aparición de dolor vertebral y la disminución de talla deben hacer sospechar fracturas vertebrales, muchas veces silentes. El enfoque debe ser integral, incluyendo nutrición, ejercicio, protección en el hogar, y tratamiento secuencial con agentes antirresortivos o formadores según cada caso.

5. Rol del bioquímico farmacéutico

El bioquímico farmacéutico cumple un papel esencial en la identificación de problemas relacionados con la farmacoterapia y en la evaluación de la respuesta, la seguridad y la adherencia al tratamiento. Su intervención incluye la valoración de parámetros bioquímicos como el déficit moderado de vitamina D y el control del calcio sérico, fundamentales para asegurar la administración segura del denosumab. Además, participa en la detección del uso prolongado de corticoides

(prednisona) como posible factor contribuyente, hallazgo que comunica al equipo tratante para su valoración, ya que la modificación o la suspensión de un tratamiento prescrito corresponde al profesional prescriptor. Aporta asimismo en la selección y el ajuste del suplemento de vitamina D y calcio, participa en el seguimiento de la función renal alterada, orienta el monitoreo de posibles efectos adversos del tratamiento anterior y asesora al paciente en medidas no farmacológicas,

apoyando al equipo de salud en la toma de decisiones terapéuticas secuenciales con un enfoque personalizado y seguro.

6. Claves de aprendizaje

- La pérdida de talla y el dolor dorsal persistente deben hacer sospechar una fractura vertebral, con frecuencia silente.
- Distinguir la osteoporosis secundaria de la primaria cambia el abordaje, porque obliga a actuar también sobre la causa que la provoca.
- Detectar el fallo de un tratamiento previo y documentarlo es una aportación farmacéutica al equipo sanitario, que es quien decide el cambio.

9.5 Resumen

El sistema musculoesquelético es una estructura esencial del cuerpo humano, conformada por huesos, músculos esqueléticos, articulaciones, cartílagos, ligamentos y tendones. Su función principal es permitir el movimiento, brindar soporte estructural y proteger órganos vitales, además de interactuar con los sistemas nervioso y circulatorio. El esqueleto humano, compuesto por 206 huesos, se divide en axial (cráneo, columna, esternón y costillas) y apendicular (extremidades y cinturas).

Las articulaciones pueden ser inmóviles (sinartrosis), de movimiento limitado (anfiartrosis) o amplio (diartrosis). El cartílago proporciona soporte flexible, mientras que los ligamentos y tendones conectan huesos y músculos. El tejido muscular se clasifica en esquelético,

cardíaco y liso, siendo el esquelético el responsable del movimiento voluntario

Comprender este sistema es vital en medicina, bioquímica y farmacia para abordar eficazmente disfunciones musculoesqueléticas.

La fisiología del músculo esquelético estudia cómo las fibras musculares se contraen para generar fuerza y movimiento. Este proceso comienza con una señal nerviosa que libera acetilcolina en la unión neuromuscular, provocando un potencial de acción en la fibra muscular. La señal viaja por los túbulos T y estimula la liberación de calcio desde el retículo sarcoplásmico.

El calcio se une a la troponina, permitiendo que la miosina interactúe con la actina y se formen puentes cruzados que generan fuerza.

La relajación ocurre cuando cesa la señal nerviosa y el calcio retorna al retículo sarcoplásmico. Existen distintos tipos de fibras musculares (I, IIa, IIb) que determinan la eficiencia y duración de la contracción. Esta coordinación entre el sistema nervioso y muscular permite desde movimientos finos hasta acciones potentes.

Su comprensión es clave para la biología, medicina, deporte y rehabilitación, ya que alteraciones en este proceso pueden derivar en patologías musculares o bajo rendimiento físico.El sistema musculoesquelético, compuesto por huesos, músculos, tendones y articulaciones, es fundamental para el movimiento, el soporte corporal y la protección de órganos. Además, cumple funciones metabólicas como el almacenamiento de minerales (por ejemplo, el calcio) y la producción de células sanguíneas.

Desde un enfoque bioquímico, procesos como la contracción muscular dependen de proteínas (actina y miosina), iones de calcio y energía (ATP), mientras que el hueso se renueva mediante un equilibrio entre osteoblastos (formadores de hueso) y osteoclastos (destructores).

Si este balance se altera, puede provocar debilidad ósea o pérdida de masa muscular, como ocurre en la osteoporosis o las distrofias.

Comprender estos mecanismos permite desarrollar tratamientos más efectivos y personalizados, mejorando así la calidad de vida de los pacientes.

9.6 Preguntas de repaso

Opción múltiple

1. La contracción del músculo esquelético se inicia cuando:

A. La miosina se une directamente al ATP en el sarcolema.

B. El retículo sarcoplásmico recapta el calcio liberado.

C. El calcio se une a la troponina y permite la interacción entre actina y miosina.

D. La acetilcolina es degradada en la hendidura sináptica.

2. Las fibras musculares de tipo I se caracterizan por ser:

A. Rápidas y de metabolismo predominantemente glucolítico.

B. Carentes de mitocondrias en su citoplasma.

C. Exclusivas del músculo cardíaco.

D. Lentas, oxidativas y resistentes a la fatiga.

3. Una articulación que permite un movimiento amplio se denomina:

A. Diartrosis.

B. Sinartrosis.

C. Anfiartrosis.

D. Sindesmosis.

4. Los antiinflamatorios no esteroideos ejercen su efecto mediante:

A. El bloqueo de los receptores de acetilcolina de la placa motora.

B. La inhibición de las ciclooxigenasas.

C. El aumento directo de la densidad mineral ósea.

D. La inhibición de la recaptación de calcio por el retículo sarcoplásmico.

5. Los bifosfonatos se emplean en las alteraciones de la densidad mineral ósea porque:

A. Estimulan la contracción de la fibra muscular.

B. Sustituyen el calcio aportado por la dieta.

C. Actúan sobre el remodelado óseo y contribuyen a preservar la masa mineral.

D. Bloquean la transmisión en la unión neuromuscular.

Preguntas abiertas y de aplicación

6. Describa la secuencia del acoplamiento excitación-contracción desde la llegada del impulso nervioso a la unión neuromuscular hasta la relajación de la fibra.

7. Compare el esqueleto axial y el apendicular indicando qué huesos integra cada uno y qué función predomina en ellos.

8. Explique la clasificación de las articulaciones según su grado de movimiento y relacione cada tipo con un ejemplo y con la función que desempeña.

9. Relacione el papel del ATP en la contracción y en la relajación muscular, y explique qué sucede cuando su disponibilidad resulta insuficiente.

Reflexión e integración

10. Argumente por qué el hueso debe considerarse un tejido dinámico y no una estructura inerte, integrando su función de soporte, su papel en la hematopoyesis y el proceso de remodelado.

11. Analice la relación entre los tipos de fibra muscular y el rendimiento físico, y justifique por qué esa diferencia resulta relevante en la rehabilitación y en la práctica deportiva.

12. Desde la perspectiva farmacéutica, justifique por qué el tratamiento del dolor musculoesquelético con antiinflamatorios no esteroideos obliga a valorar sus efectos sobre otros sistemas, relacionando el mecanismo de acción con sus consecuencias.

CAPÍTULO X

10. SISTEMA REPRODUCTOR

10.1 Anatomía del sistema reproductor

El aparato reproductor humano está constituido por un conjunto de órganos especializados cuya función principal es garantizar la reproducción, mediante la producción de gametos, la fecundación y, en el caso femenino, la gestación y el parto. Desde el punto de vista anatómico y funcional, este sistema presenta diferencias estructurales entre ambos sexos, pero actúa de manera complementaria para asegurar la continuidad de la especie (Tortora & Derrickson, 2018).

En la mujer, el aparato reproductor incluye órganos internos como ovarios, trompas de Falopio, útero y vagina responsables de la ovogénesis, la fecundación y el desarrollo embrionario. El útero, descrito como un órgano muscular con forma de pera, experimenta cambios cíclicos en su endometrio bajo regulación hormonal (McLaughlin, 2025; CHOSPAB, 2011). Asimismo, las trompas de Falopio constituyen el sitio habitual de la fecundación (McLaughlin, 2025), mientras que los ovarios actúan como glándulas mixtas productoras de ovocitos y hormonas sexuales. Los genitales externos, incluyendo labios y clítoris, participan en la protección y en la respuesta sexual (El Mundo Salud, 2006; Infermera Virtual, 2014).

Por su parte, el aparato reproductor masculino comprende órganos externos como el pene y el escroto, e internos como testículos, epidídimo, conductos deferentes y glándulas accesorias. Los testículos cumplen funciones endocrinas y exocrinas al producir testosterona y espermatozoides (Cleveland Clinic, 2023). Las glándulas accesorias,

como las vesículas seminales y la próstata, contribuyen a la formación del líquido seminal, esencial para la viabilidad y movilidad espermática (Guyton & Hall, 2016; Tortora & Derrickson, 2018).

El estudio anatómico de ambos aparatos reproductores resulta fundamental en las ciencias de la salud, ya que permite comprender los procesos fisiológicos asociados, así como las posibles alteraciones patológicas que pueden afectar la fertilidad y la función sexual.

10.1.1 Aparato reproductor femenino

El aparato reproductor femenino se compone de órganos internos y externos, responsables de la producción de óvulos, la fertilización y el desarrollo del embarazo.

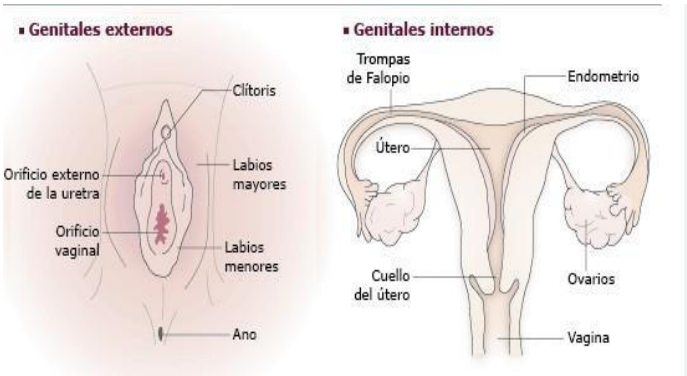


Figura 75. Aparato Reproductor Femenino.

Fuente: Elmundo.es (2006).

10.1.1.1 Órganos internos:

Vagina: "La vagina es un conducto muscular, flexible y blando, que mide entre 10 y 12,5 cm de longitud en mujeres adultas" (McLaughlin, 2025). Conecta los genitales externos conel útero y permite el paso del

flujo menstrual y el parto. Su mucosa se adapta al pH y secreciones del ciclo menstrual.

Útero: "El útero es un órgano muscular grueso con forma de pera" (McLaughlin, 2025). Su pared se divide en endometrio, miometrio y perimetrio (CHOSPAB, 2011), y alberga al embrión durante el embarazo. El endometrio se modifica cada mes bajo influencia hormonal.

Cuello uterino: "Tiene forma cilíndrica o cónica y mide entre 3 y 4 cm" (IARC Screening Group, 2025). Se comunica con la vagina mediante el canal cervical. Su moco varía durante el ciclo para facilitar o impedir el paso de espermatozoides.

Trompas de Falopio: "Conductos de aproximadamente 10 a 13 cm" donde ocurre la fecundación (McLaughlin, 2025). Están recubiertas por epitelio ciliado que ayuda a transportar el óvulo.

Ovarios: "Órganos pares con forma ovoide..." con corteza y médula (CHOSPAB, 2011). Producen hormonas sexuales y contienen los óvulos. Liberan un ovocito por ciclo menstrual.

10.1.1.2 Órganos externos:

Labios mayores y menores: "Pliegues de piel pigmentados y mucosos" (El Mundo Salud, 2006). Protegen las estructuras internas de la vulva. Los menores contienen glándulas y terminaciones nerviosas.

Clítoris: "Pequeño órgano cilíndrico formado por tejido eréctil" (Infermera Virtual, 2014). Es muy sensible y participa en la respuesta sexual. Su estructura se extiende internamente.

Vestíbulo vaginal: "Contiene las aberturas de la uretra y la vagina" (Infermera Virtual, 2014). Aquí desembocan también las glándulas de Bartolino.

Himen: "Anillo de tejido puede cubrir completamente la abertura" (McLaughlin, 2025). Su aspecto varía entre mujeres.

10.1.2 Aparato Reproductor Masculino

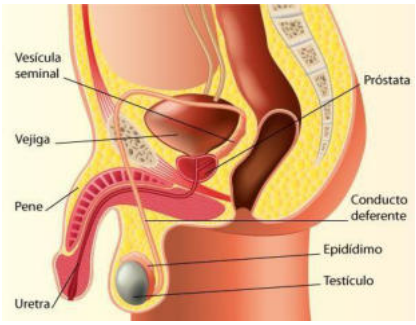


Figura 76. Aparato Reproductor Masculino.

Fuente: Elbibliote.com. (s/f).

Pene: Es el órgano copulador masculino el cual consta de raíz, cuerpo y glande (Vozmediano & Bonilla, 2010). Facilita la introducción de espermatozoides en la vagina. Durante la erección se llena de sangre (Figura 10.2).

Escroto: "Aloja los testículos y actúa como moderador de temperatura" (Ross & Pawlina, 2020). Protege a los testículos manteniéndolos a una temperatura óptima para la espermatogénesis.

Testículos: "Generan testosterona y espermatozoides" (Cleveland Clinic, 2023). Son glándulas endocrinas y exocrinas. Contienen túbulos seminíferos.

Epidídimo: "Permite que los espermatozoides se desarrollen" (Hirsch, 2023). Aquí maduran y se almacenan antes de su eyaculación.

Conductos deferentes: "Llevan espermatozoides hacia la uretra" (Hirsch, 2023). Forman parte del cordón espermático.

Vesículas seminales: "Representan alrededor del 80% del fluido eyaculado" (Tortora & Derrickson, 2018). Secretan fructosa y prostaglandinas que estimulan la motilidad espermática.

Próstata: Produce un líquido extra que favorece la alimentación de los espermatozoides (Guyton & Hall, 2016). Rodea la uretra y aporta enzimas.

Glándulas de Cowper: "Generan un fluido claro y suave" (Guyton & Hall, 2016). Lubrican la uretra y neutralizan su acidez.

10.2 Fisiología del sistema reproductor

La fisiología del sistema reproductor comprende el estudio de los procesos hormonales y celulares que permiten la formación de gametos, la fecundación y el mantenimiento de la función sexual, mediante la regulación del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas (Guyton & Hall, 2021). Este sistema depende de un equilibrio endocrino preciso que coordina la producción hormonal y la actividad de los órganos reproductores masculinos y femeninos.

En el sistema reproductor masculino, los testículos cumplen funciones endocrinas y exocrinas, ya que producen testosterona y espermatozoides (Mandujano Rangel, 1983). La FSH estimula las células de Sertoli, favoreciendo la espermatogénesis, mientras que la LH actúa sobre las células de Leydig promoviendo la síntesis de testosterona, hormona

responsable del desarrollo de los caracteres sexuales secundarios y del mantenimiento de la libido (Guyton & Hall, 2021). Durante la excitación sexual, los cuerpos cavernosos y el cuerpo esponjoso se llenan de sangre, permitiendo la erección. Además, el escroto mantiene una temperatura de 2 a 4 °C por debajo de la corporal, condición indispensable para una adecuada producción espermática (Galliano & Cesario, 2021).

En el sistema reproductor femenino, los ovarios liberan ovocitos y secretan estrógenos y progesterona, hormonas reguladas por la acción de la FSH y la LH (Tortora & Derrickson, 2020). El ciclo uterino comprende fases proliferativa, secretora y menstrual, durante las cuales el endometrio se engrosa para permitir una posible implantación y, en ausencia de fecundación, se descama produciendo la menstruación (Guyton & Hall, 2021). La ovulación ocurre aproximadamente hacia el día 14 de un ciclo promedio de 28 días, marcando el periodo de mayor fertilidad.

El análisis fisiológico de ambos sistemas permite comprender los mecanismos que aseguran la reproducción humana y la importancia del control hormonal en la salud sexual y reproductiva (Figura 77)



Figura 77. Sistema Reproductor Humano.

Fuente: Maita (2025).

Masculino: "El escroto conserva una temperatura 2-4°C por debajo del cuerpo" (Galliano; Cesario). "Los testículos producen espermatozoides y testosterona" (Mandujano Rangel, 1983). La FSH estimula las células de Sertoli para el desarrollo de espermatozoides, mientras que la LH estimula a las células de Leydig a producir testosterona. Esta hormona también regula la libido, el crecimiento de vello facial y corporal y la masa muscular.

Femenino: Los ovarios liberan óvulos y producen estrógenos y progesterona. La LH y la FSH controlan el ciclo ovárico. El útero pasa por fases: proliferativa, secretora y menstrual. "El endometrio se engrosa y se descama en ausencia de fecundación". Durante el ciclo, los niveles hormonales varían para preparar al cuerpo para una posible gestación. La ovulación ocurre aproximadamente el día 14 del ciclo y, si hay fecundación, se inicia el embarazo. De lo contrario, comienza la menstruación.

10.2.1 Función prostática y marcadores enzimáticos

La próstata secreta un líquido alcalino rico en citrato, calcio y enzimas proteolíticas. Jameson et al. (2015) señalan que el Antígeno Prostático Específico (PSA) es una serina proteasa cuya función bioquímica es la licuefacción del coágulo seminal tras la eyaculación, permitiendo la liberación de los espermatozoides. En el laboratorio clínico, la medición de los niveles de PSA y la composición de electrolitos en el semen son indicadores esenciales de la integridad funcional de las glándulas accesorias masculinas.

10.2.1.1 Mecanismos moleculares de la fecundación

La fecundación es un proceso de reconocimiento celular específico que ocurre generalmente en la ampolla de la trompa de Falopio. De acuerdo con Alberts et al. (2014), este evento requiere una serie de cambios bioquímicos en el espermatozoide conocidos como "capacitación", que ocurren tras el contacto con las secreciones del tracto femenino e involucran la alteración de la composición lipídica de la membrana plasmática y el aumento de la permeabilidad al calcio.

10.2.1.2 Reacción acrosómica y bloqueo de la poliespermia

Al contactar con la zona pelúcida del ovocito, el espermatozoide desencadena la reacción acrosómica, liberando enzimas hialuronidasas y acrosina que digieren la matriz extracelular del óvulo. Koeppen y Stanton (2017) describen que, una vez que las membranas de ambos gametos se fusionan, se produce una despolarización eléctrica instantánea de la membrana del ovocito y una liberación masiva de calcio intracelular (reacción cortical). Este proceso modifica las glicoproteínas de la zona pelúcida para impedir la entrada de espermatozoides adicionales, asegurando la integridad diploide del nuevo cigoto.

10.2.2 Fisiología de la lactancia y regulación neuroendocrina

Tras el parto, el sistema reproductor coordina la nutrición del recién nacido mediante la lactogénesis. Este proceso depende de una interacción neuroendocrina precisa entre el hipotálamo y la glándula mamaria. Según Barrett et al. (2019), la prolactina, secretada por la adenohipófisis, es la hormona responsable de la síntesis de los componentes lácteos, incluyendo la lactosa y las proteínas de la leche,

cuya producción aumenta significativamente tras la caída de los niveles de estrógenos y progesterona placentaria postparto.

10.2.2.1 El reflejo de eyección mediado por oxitocina

Mientras que la prolactina regula la producción, la oxitocina es la encargada de la eyección de la leche. Silverthorn (2018) explica que el estímulo de succión del lactante envía señales sensoriales al hipotálamo, induciendo la liberación de oxitocina desde la neurohipófisis. Esta hormona provoca la contracción de las células mioepiteliales que rodean los alvéolos mamarios, impulsando la leche hacia los conductos galactóforos. Además, la oxitocina promueve la involución uterina postparto, reduciendo el riesgo de hemorragia mediante la estimulación de la contracción del miometrio.

10.2.3 Senescencia reproductiva: menopausia y andropausia

El fin de la vida reproductiva está marcado por cambios bioquímicos profundos en el eje HHG. En la mujer, la menopausia se define por el agotamiento de la reserva folicular ovárica, lo que conlleva una caída drástica de los niveles de estrógenos. Melmed et al. (2019) destacan que la falta de retroalimentación negativa provoca un aumento compensatorio masivo en los niveles de FSH y LH circulantes. En el hombre, el proceso es más gradual, conocido como andropausa, donde se observa una disminución progresiva en la producción de testosterona y en la sensibilidad de las células de Leydig, afectando la densidad ósea y la función metabólica general.

10.3 Bases bioquímicas y enfoque farmacéutico del sistema reproductor

La función del sistema reproductor se basa en una red de comunicación química que permite la coordinación entre el cerebro y los órganos sexuales. Estos procesos no ocurren de forma aislada, sino que dependen de la síntesis, transporte y reconocimiento de moléculas específicas que dictan el comportamiento celular. De acuerdo con Melmed et al. (2019), la bioquímica de la reproducción se puede resumir en la interacción de dos grandes grupos de mensajeros: las proteínas mensajeras y los esteroides químicos.

El proceso comienza con señales eléctricas en el cerebro que se transforman en impulsos químicos. Las hormonas como la FSH y la LH actúan como "llaves" que viajan por la sangre hasta encontrar sus "cerraduras" (receptores) en los testículos u ovarios. Una vez que estas llaves abren la cerradura, se activa una cascada de señales dentro de la célula mediada por el *AMPc* (Adenosín Monofosfato cíclico), que es el encargado de dar la orden final para producir espermatozoides u óvulos.

Para que la reproducción sea exitosa, las células sexuales requieren una gran cantidad de energía en forma de *ATP*. En el caso de los espermatozoides, la bioquímica del semen les proporciona azúcares como la fructosa, que funciona como combustible para que puedan moverse. Por otro lado, en el sistema femenino, los cambios químicos en el útero aseguran que el ambiente sea rico en nutrientes y glucógeno, permitiendo que un posible embrión tenga la energía necesaria para sobrevivir en sus primeros días.

La farmacología moderna aprovecha estos procesos químicos para corregir desequilibrios o controlar la fertilidad. La mayoría de los medicamentos diseñados para este sistema funcionan "engañando" al cuerpo o bloqueando señales específicas. Según Brunton et al. (2017), la clave de la farmacéutica reproductiva es el uso de sustancias que mimetizan la estructura de las hormonas naturales para ocupar sus receptores y producir una respuesta controlada.

Los fármacos como los anticonceptivos o los inductores de la fertilidad actúan sobre los mecanismos de retroalimentación. Si el medicamento envía una señal química de "suficiencia", el cerebro deja de producir las hormonas que causan la ovulación. Por el contrario, si el fármaco bloquea los sensores químicos, el cerebro interpreta que faltan hormonas y envía una señal potente para estimular el sistema, lo cual es la base de los tratamientos para personas que tienen dificultad para concebir.

Menopausia: "Reducción de los folículos en los ovarios... baja en niveles de estrógenos". Se diagnostica con FSH alta y estradiol bajo. Los síntomas incluyen sofocos, sequedad vaginal, cambios de humor e insomnio. También se incrementa el riesgo de osteoporosis y enfermedad cardiovascular (Mayo Clinic, 2024) (Figura 78).

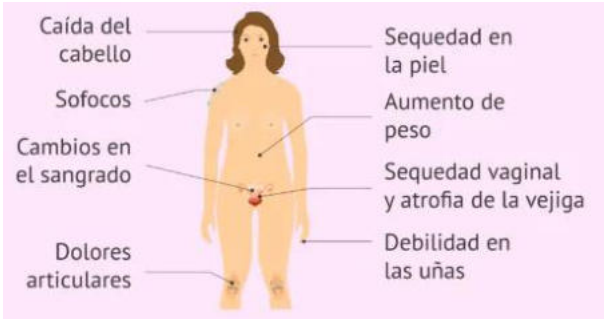


Figura 78. Menopausia.

Fuente: Pérez, Barranquero & Salvador, (2024).

10.3.1 Tratamientos hormonales

- "Para sofocos intensos, atrofia vaginal y prevención de pérdida ósea". (estrógenos + progestinas). Requieren evaluación individual del riesgo-beneficio.
- "Estrógenos vaginales... alivian síntomas locales con baja absorción sistémica". Eficaces para dispareunia y sequedad.
- Prasterona (Intrarosa): "DHEA intravaginal convertida localmente en estrógenos y andrógenos". Actúa sin efectos sistémicos significativos.

10.3.2 Terapias no hormonales

ISRS/IRSN: "Modulan el centro termorregulador del SNC". Recomendados en mujeres con cáncer de mama o riesgo cardiovascular.

Gabapentina: "Reduce sofocos nocturnos somnolencia como efecto adverso". Especialmente útil en pacientes con insomnio.

Clonidina: "Reduce levemente los sofocos... pero puede causar sedación e hipotensión". Alternativa cuando no hay acceso a otros fármacos.

Fezolinetant: "Inhibe la vía de neuronas KNDy", libre de hormonas. Innovador en tratamiento de sofocos severos.

Oxibutinina: "Reduce síntomas vasomotores" pero puede causar deterioro cognitivo. Uso con precaución en adultos mayores.

10.3.3 Farmacología de la Regulación Hormonal y Fertilidad

La manipulación del eje reproductivo es la base de la anticoncepción moderna y de los tratamientos de reproducción asistida. Estos fármacos actúan principalmente sobre los mecanismos de retroalimentación del sistema endocrino.

10.3.4 Anticonceptivos hormonales y retroalimentación negativa

Los anticonceptivos orales combinados (AOC) utilizan dosis constantes de estrógenos (como el etinilestradiol) y progestágenos para inhibir la secreción de gonadotropinas. Melmed et al. (2019) explican que la presencia sostenida de estos esteroides sintéticos ejerce una retroalimentación negativa potente que suprime el pico de LH, impidiendo la ovulación. Bioquímicamente, los progestágenos también incrementan la viscosidad del moco cervical y alteran el glucógeno endometrial, creando un ambiente hostil para la implantación.

10.3.5 Moduladores selectivos de receptores de estrógenos (SERM)

El citrato de clomifeno es el agente de elección para la inducción de la ovulación. Su mecanismo consiste en actuar como antagonista de los receptores de estrógenos en el hipotálamo. Según Jameson et al. (2015), al bloquear la señal estrogénica, el hipotálamo interpreta una deficiencia hormonal y aumenta la liberación pulsátil de GnRH, lo que eleva los

niveles de FSH y LH para estimular el reclutamiento folicular en pacientes con infertilidad anovulatoria.

10.3.6 Bioquímica de los bloqueadores y análogos de GnRH

El control farmacológico de la GnRH permite una modulación total del sistema reproductor, siendo crucial en protocolos de fertilización in vitro y en oncología.

10.3.6.1 Agonistas y antagonistas de gnrh

Los agonistas de GnRH (como la leuprolida) inicialmente provocan un efecto de "llamarada" hormonal, pero tras la administración crónica, inducen una desensibilización de los receptores hipofisarios. Barrett et al. (2019) señalan que este proceso resulta en una castración química reversible, útil en el tratamiento del cáncer de próstata y la endometriosis. Por el contrario, los antagonistas (como el cetrorelix) producen una supresión inmediata de la secreción de gonadotropinas al bloquear competitivamente los receptores sin activarlos previamente.

10.3.6.2 Uso clínico de la gonadotropina coriónica (hcg)

En la práctica farmacéutica, la hCG se utiliza como un análogo biológico de la LH debido a la similitud estructural de su subunidad beta. De acuerdo con Koeppen y Stanton (2017), la administración de hCG se emplea para desencadenar la maduración final del ovocito y la ovulación en protocolos de fertilidad, o para estimular la producción de testosterona en varones con hipogonadismo hipogonadotrópico.

10.3.7 Farmacología del sistema reproductor masculino y uterotónicos

El tratamiento de la disfunción sexual y la inducción del parto representan áreas críticas donde la bioquímica molecular dicta la eficacia terapéutica.

Los inhibidores de la Fosfodiesterasa-5 (PDE5) ayudan con el manejo de la disfunción eréctil se basa en potenciar la vía del óxido nítrico (NO). Fármacos como el sildenafil inhiben la enzima PDE5, la cual es responsable de la degradación del GMPc en los cuerpos cavernosos. Silverthorn (2018) destaca que al mantener niveles elevados de GMPc, se prolonga la relajación del músculo liso vascular y el flujo sanguíneo peneano, facilitando la erección ante el estímulo sexual.

10.3.8 Oxitocina y prostaglandinas en la obstetricia

La inducción del parto y el control de la hemorragia postparto dependen de agentes uterotónicos. La oxitocina sintética activa receptores acoplados a proteína Gq, incrementando la concentración de Ca2+ intracelular en las células del miometrio. Costanzo (2022) explica que las prostaglandinas (como el misoprostol) complementan esta acción al promover el borramiento cervical y aumentar la contractilidad uterina, siendo fundamentales en el manejo bioquímico del alumbramiento.

10.3.9 Aplicaciones clínicas

Conocimientos bioquímicos permiten desarrollar anticonceptivos, terapias hormonales, fertilización in vitro, manejo de SOP, endometriosis e hipogonadismo. También se aplican tecnologías de edición genética y medicina personalizada. La farmacología permite

tratamientos adaptados a las condiciones individuales de cada paciente. El enfoque bioquímico también es útil para la evaluación de marcadores hormonales en diagnóstico precoz.

10.4 Aplicaciones clínicas

Caso clínico 1. Dolor pélvico crónico con menorragia y dismenorrea

1. Contextualización y presentación clínica

Descripción breve del paciente: Mujer adulta (edad no especificada), sin antecedentes clínicos detallados, consulta por dolor pélvico crónico.

Presentación clínica: Presenta menorragia (sangrado menstrual abundante), dispareunia (dolor durante relaciones sexuales) y dismenorrea (dolor menstrual). En ecografía se evidencia un útero aumentado de tamaño, y posteriormente, una resonancia magnética confirma la presencia de miomas intramurales y submucosos.

2. Evaluación diagnóstica

Exploración anatómica relevante: El útero, específicamente el miometrio (capa muscular) y la cavidad endometrial, están implicados. El crecimiento anormal de músculo uterino (miomas) provoca los síntomas clínicos.

Pruebas diagnósticas utilizadas:

1. **Ecografía transvaginal**: Identificó el aumento del tamaño uterino y la imagen compatible con miomas.
2. **Resonancia magnética (RM)**: Confirmó la presencia de miomas y su localización (intramurales y submucosos).

3. Abordaje terapéutico y farmacológico

Medicamentos recomendados: Antes de considerar la cirugía, pueden usarse:

Análogos de GnRH (ej. leuprolida): suprimen los estrógenos y reducen el tamaño de los miomas.

AINEs: para aliviar el dolor pélvico.

Hierro oral: para tratar la anemia secundaria a la menorragia.

Farmacocinética y farmacodinamia: los análogos de GnRH suprimen la actividad del eje hipotálamo-hipófisis-ovario, reduciendo los niveles de estrógenos, lo que disminuye el tamaño de los miomas.

Efectos secundarios: Los análogos de GnRH pueden causar síntomas similares a la menopausia (sofocos, disminución de la densidad ósea). Se puede usar terapia de reemplazo hormonal combinada para mitigar efectos.

4. Consideraciones bioquímico-farmacéuticas

Interacciones medicamentosas: Evitar la combinación de AINEs con anticoagulantes; cuidado con suplementos de calcio en mujeres con tratamiento prolongado de GnRH.

Dosis y administración: Leuprolida se administra mensualmente o cada 3 meses; el hierro debe ajustarse según la tolerancia gástrica.

Monitoreo: Evaluar hemoglobina, tamaño uterino en control ecográfico, densidad ósea en tratamientos prolongados.

5. Claves de aprendizaje

• El dolor pélvico crónico exige correlacionar los síntomas con la anatomía del aparato reproductor femenino antes de interpretar cualquier prueba de imagen.

• Los análogos de GnRH actúan suprimiendo el eje hipotálamo-hipófisis-ovario: su efecto terapéutico y sus efectos adversos proceden del mismo mecanismo.

• Un tratamiento que reduce los estrógenos obliga a vigilar la densidad ósea cuando se prolonga.

Caso clínico 2. Infertilidad primaria por obstrucción tubárica bilateral

1. Contextualización y presentación clínica

Descripción breve del paciente: Mujer de 27 años, nuligesta (sin embarazos previos), sin antecedentes de enfermedad pélvica inflamatoria ni cirugías abdominales.

Presentación clínica: Consulta por infertilidad primaria. Una histerosalpingografía revela obstrucción tubárica bilateral. Laparoscopía confirma hidrosálpinx bilateral con dilatación severa.

2. Evaluación diagnóstica

Exploración anatómica relevante: Trompas de Falopio (salpinges) afectadas por acumulación de líquido (hidrosálpinx), lo que impide el transporte del óvulo.

Pruebas diagnósticas utilizadas:

Histerosalpingografía: Detectó la obstrucción de ambas trompas.

Laparoscopía diagnóstica: Confirmó el diagnóstico de hidrosálpinx bilateral.

3. Abordaje terapéutico y farmacológico

Medicamentos recomendados:

Si se detectara infección activa: antibióticos como doxiciclina o metronidazol.

No se detallan medicamentos específicos, ya que el tratamiento principal es quirúrgico: **salpingectomía bilateral** (extracción de trompas).

Efectos secundarios: En caso de uso de antibióticos, pueden presentarse náuseas, alteraciones gastrointestinales o reacciones alérgicas leves.

4. Consideraciones bioquímico-farmacéuticas

Interacciones medicamentosas: Doxiciclina no debe combinarse con antiácidos o suplementos de calcio. Metronidazol puede tener interacción con alcohol y anticoagulantes.

Dosis y administración: Doxiciclina oral 100 mg cada 12 horas por 7-14 días si hay infección. El tratamiento quirúrgico elimina la necesidad de fármacos de fertilidad tubárica.

Monitoreo: Control postoperatorio para evitar infecciones, pruebas hormonales si se considera fertilización in vitro (FIV).

5. Claves de aprendizaje

- La permeabilidad de las trompas de Falopio es condición anatómica de la fecundación: su obstrucción explica por sí sola la infertilidad.
- Cuando el tratamiento principal es quirúrgico, la aportación farmacéutica se desplaza hacia la profilaxis, el control postoperatorio y la educación de la paciente.
- Antibióticos de uso frecuente como la doxiciclina interaccionan con antiácidos y suplementos de calcio: una interacción sencilla puede anular el tratamiento.

10.5 Resumen

El aparato reproductor humano está constituido por un conjunto de órganos anatómica y funcionalmente especializados cuya finalidad es garantizar la reproducción, la continuidad de la especie y la regulación hormonal asociada a la función sexual. En la mujer, el sistema se organiza en estructuras internas y externas que participan en la ovogénesis, la fecundación, la implantación y el desarrollo embriofetal. Los órganos internos ovarios, trompas de Falopio, útero, cuello uterino y vagina cumplen funciones endocrinas y reproductivas integradas, destacándose la producción cíclica de hormonas sexuales, la liberación del ovocito y la preparación endometrial para la gestación. Los órganos externos, que conforman la vulva, desempeñan funciones protectoras, sensitivas y facilitadoras del coito.

En el varón, el aparato reproductor comprende órganos externos e internos responsables de la espermatogénesis, la maduración, el

transporte y la eyaculación de los espermatozoides. Los testículos actúan como glándulas mixtas al producir testosterona y gametos masculinos. El epidídimo y los conductos deferentes intervienen en la maduración y conducción espermática, mientras que las glándulas accesorias vesículas seminales, próstata y glándulas bulbouretrales aportan secreciones que conforman el líquido seminal y optimizan la viabilidad espermática. El pene y el escroto cumplen funciones copuladoras y de regulación térmica, respectivamente.

En conjunto, ambos sistemas evidencian una organización estructural y funcional altamente coordinada, dependiente de mecanismos hormonales complejos que integran procesos endocrinos, anatómicos y fisiológicos esenciales para la reproducción humana.

La fisiología del sistema reproductor estudia los mecanismos hormonales que regulan la producción de gametos y la función sexual en ambos sexos, bajo el control del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas (Guyton & Hall, 2021).

En el hombre, la FSH estimula a las células de Sertoli para la espermatogénesis y la LH a las células de Leydig para la producción de testosterona, hormona responsable de los caracteres sexuales secundarios y la libido (Mandujano Rangel, 1983). La erección ocurre por el llenado sanguíneo de los cuerpos cavernosos, y la temperatura escrotal inferior a la corporal favorece la producción espermática.

En la mujer, la FSH y la LH regulan el ciclo ovárico y la secreción de estrógenos y progesterona. El ciclo uterino incluye fases proliferativa, secretora y menstrual; si no hay fecundación, el endometrio se descama y se produce la menstruación (Tortora & Derrickson, 2020).

Ambos sistemas funcionan mediante un equilibrio hormonal preciso que asegura la reproducción humana.

Este capítulo aborda los cambios bioquímicos en la menopausia y sus tratamientos.

La **menopausia** se caracteriza por la reducción de estrógenos y el aumento de FSH, provocando síntomas como sofocos, insomnio y riesgo de osteoporosis. Se detallan tratamientos hormonales (estrógenos, progestinas, prasterona) y no hormonales (ISRS, gabapentina, clonidina, fezolinetant).

Se discuten las aplicaciones clínicas del conocimiento bioquímico en anticoncepción, terapia hormonal, fertilización asistida y medicina personalizada.

10.6 Preguntas de repaso

Opción múltiple

1. El eje que regula la función reproductora en ambos sexos es:

A. Hipotálamo-tiroides-gónadas.

B. Hipófisis-suprarrenal-ovario.

C. Gónada-hígado-riñón.

D. Hipotálamo-hipófisis-gónadas.

2. En el varón, la hormona luteinizante actúa principalmente sobre:

A. Las células de Leydig, estimulando la producción de testosterona.

B. Las células de Sertoli, iniciando la espermatogénesis.

C. El epidídimo, favoreciendo la maduración espermática.

D. La próstata, aumentando el volumen del líquido seminal.

3. Los anticonceptivos hormonales combinados impiden la ovulación porque:

A. Destruyen de forma irreversible los folículos ováricos.

B. Ejercen retroalimentación negativa sobre la secreción de gonadotropinas.

C. Bloquean físicamente la luz de las trompas de Falopio.

D. Incrementan de manera sostenida la secreción de hormona luteinizante.

4. El escroto contribuye a la fertilidad masculina mediante:

A. La producción de la mayor parte del líquido seminal.

B. La maduración final de los espermatozoides.

C. La regulación térmica de los testículos.

D. La secreción de testosterona.

5. Los moduladores selectivos de los receptores de estrógenos se caracterizan por:

A. Bloquear la síntesis de todas las hormonas sexuales.

B. Sustituir a la testosterona en el varón.

C. Impedir la liberación hipofisaria de oxitocina.

D. Comportarse como agonistas o antagonistas del receptor según el tejido.

Preguntas abiertas y de aplicación

6. Describa los órganos internos del aparato reproductor femenino y explique la función endocrina y reproductora de cada uno.

7. Explique el papel de la FSH y de la LH en el varón y en la mujer, señalando las células diana sobre las que actúan en cada caso.

8. Compare las glándulas accesorias masculinas indicando la contribución de cada una al líquido seminal y su repercusión sobre la viabilidad espermática.

9. Relacione la regulación neuroendocrina de la lactancia con las hormonas implicadas y explique cómo se coordinan la producción y la eyección de la leche.

Reflexión e integración

10. Argumente por qué la retroalimentación negativa constituye el fundamento farmacológico de la anticoncepción hormonal, integrando el funcionamiento del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas.

11. Analice los cambios fisiológicos propios de la senescencia reproductiva y justifique sobre qué criterios se apoya la decisión de instaurar o no un tratamiento hormonal.

12. Desde la práctica del bioquímico farmacéutico, explique la utilidad de los marcadores enzimáticos de función prostática y qué precauciones exige su interpretación.

GLOSARIO

Anatomía: Ciencia dedicada al estudio de la morfología del cuerpo humano: su forma, su estructura y las relaciones entre sus partes. Su nombre procede del griego «anatomē», que significa disección, el método sobre el que se construyó la disciplina.

Anatomía macroscópica: Rama de la anatomía que examina las estructuras corporales visibles a simple vista o mediante herramientas de diagnóstico por imagen, sin necesidad de recurrir a instrumentos de aumento.

Anatomía microscópica: Rama de la anatomía que requiere el uso del microscopio. Comprende la histología, dedicada al estudio de los tejidos, y la citología, centrada en el estudio de las células.

Cavidad corporal: Espacio interno del organismo, revestido por membranas y en ocasiones ocupado por líquido, que protege, separa y sostiene los órganos internos y reduce la fricción entre ellos durante el movimiento.

Cavidad dorsal: Cavidad situada en la parte posterior del cuerpo y protegida por el cráneo, la columna vertebral y las meninges. Se subdivide en cavidad craneal, que aloja el encéfalo, y cavidad vertebral o espinal.

Cavidad ventral: Cavidad anterior del cuerpo, de mayor tamaño que la dorsal, subdividida en cavidad torácica, abdominal y pélvica. El diafragma separa el compartimento torácico del abdominal.

Disección: Técnica anatómica clásica basada en la separación y el examen directo de las estructuras corporales. Constituye la base histórica de la anatomía descriptiva y fue revitalizada por Vesalio en el siglo XVI.

Distal: Término direccional que indica mayor lejanía respecto del punto de origen de una extremidad. La muñeca, por ejemplo, es distal con relación al codo.

Electrofisiología: Metodología de estudio fisiológico dedicada al registro y análisis de los potenciales eléctricos generados por células y tejidos, especialmente útil para evaluar la actividad nerviosa y muscular.

Farmacocinética: Estudio de lo que el organismo hace con el fármaco: su absorción, distribución, metabolismo y excreción. Depende directamente de la anatomía y la fisiología de los órganos implicados en cada uno de esos procesos.

Farmacodinámica: Estudio de los mecanismos por los cuales un fármaco ejerce su efecto en los niveles molecular, celular y sistémico, y de la relación entre esa acción y la fisiología del sistema sobre el que actúa.

Fisiología: Disciplina científica que investiga los procesos y las funciones que permiten el funcionamiento del organismo vivo. Su origen etimológico se encuentra en las voces griegas «physis», naturaleza, y «logos», estudio.

Homeostasis: Equilibrio dinámico mediante el cual el organismo mantiene constantes sus condiciones internas —temperatura corporal,

pH sanguíneo, presión arterial o glucemia— a pesar de las variaciones del entorno externo.

Lateral: Término direccional que designa una posición más alejada de la línea media del cuerpo, en oposición a medial.

Medial: Término direccional que designa una posición más próxima a la línea media del cuerpo, en oposición a lateral.

Medio interno: Concepto introducido por Claude Bernard como «milieu intérieur» para designar el ambiente líquido que rodea a las células, cuya estabilidad resulta imprescindible para la vida y que anticipa la noción de homeostasis.

Nivel celular: Segundo nivel de organización biológica, en el que las moléculas se agrupan para formar células, unidades estructurales y funcionales básicas de todo ser vivo, dotadas de orgánulos especializados.

Nivel de sistemas: Nivel de organización en el que varios órganos se integran para desarrollar funciones conjuntas y vitales, como ocurre en el sistema digestivo, el respiratorio o el circulatorio.

Nivel orgánico: Nivel de organización en el que dos o más tipos de tejidos se combinan para formar un órgano con una función definida. El corazón, por ejemplo, reúne tejido muscular, conectivo, epitelial y nervioso.

Nivel químico: Nivel más básico de organización, constituido por los átomos —carbono, oxígeno, hidrógeno o nitrógeno— y por las

moléculas que estos forman, como el agua, los lípidos, los carbohidratos y las proteínas.

Nivel tisular: Nivel de organización en el que células del mismo tipo se agrupan para formar tejidos. Los cuatro tipos fundamentales son el epitelial, el conectivo, el muscular y el nervioso.

Principio de complementariedad estructura-función: Postulado, formulado por Claude Bernard en 1865, según el cual la función de un componente biológico está ligada a su estructura, de modo que la configuración anatómica condiciona las capacidades fisiológicas.

Proximal: Término direccional que indica mayor cercanía al punto de origen de una extremidad. El codo, por ejemplo, es proximal con relación a la muñeca.

Retroalimentación negativa: Mecanismo homeostático más frecuente. Se activa cuando una variable se desvía de su rango normal y genera una respuesta que revierte el cambio, como la liberación de insulina ante el ascenso de la glucemia.

Retroalimentación positiva: Mecanismo de control que, en lugar de revertir el cambio, lo intensifica hasta alcanzar un resultado concreto, como la oxitocina que refuerza las contracciones uterinas hasta el momento del parto.

Encéfalo: La parte del sistema nervioso central contenida dentro del cráneo, que incluye el cerebro, el tronco cerebral y el cerebelo.

Médula Espinal: Un cordón nervioso que se extiende desde el encéfalo por el canal vertebral, sirviendo como vía de comunicación y centro de actos reflejos.

Neurona: La unidad fundamental del sistema nervioso, especializada en la transmisión de información.

Aferente: Se refiere a las vías o fibras nerviosas que transportan información hacia el Sistema Nervioso Central (SNC) desde los receptores sensoriales u otras estructuras.

Eferente: Se refiere a las vías o fibras nerviosas que transportan señales desde el Sistema Nervioso Central (SNC) hacia los músculos, glándulas u otros

Sustancia Blanca: Tejido del SNC formado por axones mielinizados, cuya función principal es transmitir información rápidamente entre diferentes partes del sistema nervioso.

Mielina: Una capa lipídica que recubre los axones de las neuronas, facilitando la conducción rápida de los impulsos nerviosos.

Homeostasis: La capacidad del cuerpo para mantener un ambiente interno estable y equilibrado, regulado en parte por el sistema nervioso autónomo y el sistema endocrino.

Receptores Sensoriales: Estructuras especializadas (como los receptores táctiles, auditivos o visuales) que detectan estímulos del medio interno o externo y los convierten en señales

nerviosas.**Meninges:** Membranas protectoras que cubren el encéfalo y la médula espinal (duramadre, aracnoides, piamadre).

Duramadre (Paquimeninge): Capa meníngea externa, fuerte y densa.

Aracnoides: Capa meníngea intermedia, delgada y sin vasos sanguíneos.

Piamadre (Leptomeninge): Capa meníngea interna, muy fina, con vasos sanguíneos y adherida a la superficie del SNC.

Neuroglia (Células Gliales): Células de soporte en el sistema nervioso, más abundantes que las neuronas, que no participan directamente en la transmisión neuronal.

Homeostasis: El equilibrio y la estabilidad de las funciones internas del organismo, regulado por el sistema nervioso autónomo.

Excitabilidad: Propiedad de los nervios de reaccionar ante la acción de un estímulo.

Conductibilidad: Propiedad de los nervios de transmitir el impulso nervioso de una parte a otra.

Neurofilamento: Filamento intermedio presente en las neuronas que forma parte del citoesqueleto y proporciona soporte estructural, contribuyendo al mantenimiento de la forma y la integridad del axón.

Astrocito: Tipo de célula glial del sistema nervioso central que participa en la regulación del entorno extracelular.

Mielina: Capa lipídica que recubre los axones de muchas neuronas.

Barrera hematoencefálica (BHE): Estructura formada por células endoteliales unidas por uniones estrechas y sostenida por astrocitos.

Neurotransmisor: Molécula química liberada por las neuronas en las sinapsis, que permite la transmisión de señales entre células nerviosas al unirse a receptores específicos en la célula receptora.

Farmacodinamia: Rama de la farmacología que estudia los efectos bioquímicos y fisiológicos de los fármacos sobre el organismo y sus mecanismos de acción.

Farmacocinética: Disciplina que analiza el recorrido de un fármaco dentro del cuerpo.

Neurotoxicidad: Daño funcional o estructural del sistema nervioso provocado por sustancias químicas tóxicas.

Sinapsis: Punto de contacto funcional entre dos neuronas donde se produce la transmisión del impulso nervioso mediante neurotransmisores.

Adenohipófisis: Parte anterior de la glándula hipófisis que secreta varias hormonas como la hormona del crecimiento, prolactina, ACTH, TSH, FSH y LH, regulando múltiples funciones del cuerpo.

Vasopresina (ADH): Hormona antidiurética producida por el hipotálamo y liberada por la neurohipófisis; actúa sobre los riñones para reducir la pérdida de agua y aumentar la presión arterial.

Gónadas: Órganos sexuales productores de gametos y hormonas sexuales: los testículos en los hombres (producen espermatozoides y testosterona) y los ovarios en las mujeres (producen óvulos, estrógenos y progesterona).

Infundíbulo: Estructura en forma de embudo que conecta el hipotálamo con la hipófisis posterior (neurohipófisis); también se refiere a la porción del oviducto que recoge el óvulo tras la ovulación.

Istmo: Parte estrecha que conecta dos estructuras. En el aparato reproductor femenino, es la porción angosta de la trompa de Falopio entre el infundíbulo y el útero.

Acinos glandulares: Unidades estructurales de las glándulas exocrinas formadas por células secretoras dispuestas en forma de saco o racimo; producen sustancias como enzimas, saliva o leche.

Estradiol: Principal hormona estrogénica en las mujeres en edad fértil, producida por los ovarios; regula el ciclo menstrual, el desarrollo de características sexuales secundarias y mantiene la salud ósea y cardiovascular.

Inhibina: Hormona producida por las gónadas (células de Sertoli en hombres y células de la granulosa en mujeres) que inhibe la secreción de FSH desde la hipófisis, regulando la producción de gametos.

Células cromafines: Células especializadas de la médula suprarrenal que secretan catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) como respuesta al estrés.

Silla turca: Depresión ósea del hueso esfenoides en la base del cráneo que alberga a la hipófisis; su nombre proviene de su forma similar a una silla de montar turca.

Homeostasis: Capacidad del cuerpo para mantener un equilibrio interno estable (como la temperatura, el pH o los niveles de glucosa), a pesar de los cambios en el entorno externo.

Glucagón: Hormona producida por el páncreas que eleva los niveles de glucosa en sangre al estimular la descomposición del glucógeno hepático.

Somatomedina C (IGF-1): Factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1, producido principalmente en el hígado en respuesta a la hormona del crecimiento; promueve el crecimiento y desarrollo celular.

Aldosterona: Hormona producida por la corteza suprarrenal que regula el equilibrio de sodio y potasio, y con ello la presión arterial, al actuar sobre los riñones.

Vasopresina (ADH): Hormona antidiurética secretada por la hipófisis posterior que regula la retención de agua en los riñones y contribuye al control de la presión arterial.

Catecolaminas: Grupo de hormonas (como la adrenalina y la noradrenalina) producidas por la médula suprarrenal, que preparan al cuerpo para respuestas de lucha o huida.

Liposolubles: Sustancias que se disuelven en grasas o lípidos, como algunas vitaminas (A, D, E, K) y hormonas esteroides; pueden atravesar fácilmente las membranas celulares.

Pericardio: saco de doble pared que envuelve el corazón, conteniendo una pequeña cantidad de líquido para reducir la fricción durante los latidos cardíacos.

Ápex: la punta del corazón, dirigida hacia la izquierda y formada principalmente por el ventrículo izquierdo.

Aurículas: las dos cámaras superiores del corazón que reciben la sangre (derecha: desoxigenada; izquierda: oxigenada).

Ventrículos: las dos cámaras inferiores del corazón que bombean la sangre hacia las arterias (derecho: a los pulmones; izquierdo: al resto del cuerpo).

Tabique interauricular/interventricular: pared muscular que separa las aurículas y los ventrículos, respectivamente, impidiendo la mezcla de sangre.

Sístole: fase de contracción del corazón, durante la cual la sangre es expulsada de las cavidades cardíacas.

Válvula tricúspide: válvula situada entre la aurícula y el ventrículo derechos, que permite el flujo de sangre en una sola dirección.

Válvula mitral (bicúspide): válvula ubicada entre la aurícula y el ventrículo izquierdos, que también asegura un flujo sanguíneo unidireccional.

Arterias coronarias: vasos sanguíneos que irrigan el propio músculo cardíaco con sangre oxigenada.

Aorta: la arteria más grande del cuerpo, que transporta sangre oxigenada desde el ventrículo izquierdo hacia todas las partes del organismo.

Distensibilidad: capacidad de los vasos, especialmente las venas, para expandirse y almacenar sangre sin aumentar excesivamente la presión.

Elastina: proteína elástica presente en las paredes de las arterias de conducción, que les permite expandirse y contraerse con cada latido cardíaco.

Endotelio: capa interna que recubre los vasos sanguíneos, formada por células planas que participan en el intercambio de sustancias.

Fenestración: pequeños poros en las células endoteliales de algunos capilares que aumentan la permeabilidad para el intercambio rápido de sustancias.

Lumen: espacio interno de un vaso sanguíneo por donde fluye la sangre.

Membrana basal: capa delgada que sostiene el endotelio; en los capilares sinusoidales puede estar incompleta o ausente.

Permeabilidad: propiedad de las paredes capilares que permite el paso de moléculas según el tipo de tejido y la estructura del capilar.

Perfusión: proceso mediante el cual los capilares irrigan los tejidos, permitiendo el intercambio de gases y nutrientes.

Vasoconstricción: contracción del músculo liso de la pared vascular que reduce el diámetro del vaso y aumenta la presión arterial.

Vasodilatación: relajación del músculo liso vascular que permite un aumento en el diámetro del vaso, facilitando el flujo sanguíneo

Función circulatoria Flujo sanguíneo: Movimiento de la sangre a través de los vasos sanguíneos para llevar oxígeno y nutrientes a los tejidos.

Gasto cardíaco: Volumen de sangre que el corazón bombea por minuto. Es la suma del flujo sanguíneo de todos los tejidos.

Microvasculatura: Conjunto de pequeños vasos sanguíneos (capilares, arteriolas y vénulas) que regulan el flujo local en los tejidos.

Arterias: Vasos que transportan sangre a alta presión desde el corazón hacia los tejidos.

Arteriolas: Pequeñas ramas de las arterias que regulan el paso de sangre hacia los capilares mediante contracción o dilatación.

Capilares: Vasos muy pequeños donde se produce el intercambio de gases, nutrientes y desechos entre la sangre y los tejidos.

Vénulas: Vasos que recogen la sangre de los capilares y la llevan hacia las venas.

Venas: Vasos que devuelven la sangre al corazón y funcionan también como reservorios de sangre.

Presión arterial: Fuerza que ejerce la sangre contra las paredes de los vasos. Se mide en milímetros de mercurio (mmHg).

Presión sistólica: Presión máxima durante la contracción del corazón (latido).

Circulación pulmonar: Circuito que lleva sangre desoxigenada desde el corazón a los pulmones para oxigenarse y luego de regreso al corazón

Plaquetas (trombocitos): Fragmentos celulares provenientes de los megacariocitos que ayudan en la coagulación de la sangre.

Hemocitoblasto: Célula madre hematopoyética presente en la médula ósea roja, de la cual se originan todos los elementos formes de la sangre.

Granulocitos: Tipo de glóbulo blanco que incluye a los neutrófilos, eosinófilos y basófilos; se caracterizan por contener gránulos en su citoplasma.

Monocitos: Tipo de glóbulo blanco que ayuda a eliminar células muertas o dañadas y combate microorganismos.

Megacariocito: Célula grande en la médula ósea que al fragmentarse da lugar a las plaquetas.

Coagulación: Proceso fisiológico que permite formar coágulos para detener el sangrado y favorecer la cicatrización.

Homeostasis: Proceso mediante el cual el cuerpo mantiene condiciones internas estables, como la temperatura o el equilibrio químico.

Plasma: Parte líquida de la sangre que contiene agua, sales y proteínas, y en la que se suspenden los componentes celulares.

Glóbulos rojos: Células sanguíneas encargadas de transportar oxígeno desde los pulmones a los tejidos y dióxido de carbono en sentido inverso.

Glóbulos blancos: Células del sistema inmunitario que combaten infecciones y cuerpos extraños en el organismo.

Médula ósea roja: Tejido blando localizado en el interior de ciertos huesos, donde se producen células sanguíneas

Sistema linfático: Conjunto de órganos, vasos y ganglios encargados de recoger y transportar la linfa, un fluido que contiene glóbulos blancos, y desempeñar un papel crucial en la inmunidad y el equilibrio de líquidos corporales.

Linfa: Líquido transparente que circula por los vasos linfáticos. Contiene glóbulos blancos (principalmente linfocitos), proteínas y grasas absorbidas en el intestino.

Vasos linfáticos: Conjunto de tubos finos que transportan la linfa desde los tejidos hasta la circulación sanguínea. Se dividen en capilares linfáticos y vasos linfáticos aferentes y eferentes.

Linfonodos: Órganos pequeños, en forma de frijol, que filtran la linfa. Son puntos de concentración de linfocitos y macrófagos, y están involucrados en la respuesta inmunitaria.

Timo: Órgano linfoide primario donde los linfocitos T maduran. Se encuentra en el mediastino y juega un papel clave en la inmunidad adaptativa.

Médula ósea: Tejido esponjoso en el interior de los huesos, responsable de la producción de glóbulos rojos, glóbulos blancos (como linfocitos) y plaquetas.

Bazo: Órgano linfoide secundario que filtra la sangre, eliminando células sanguíneas viejas, y produce linfocitos. Se encuentra en el abdomen, cerca del estómago.

Hematopoyesis: Proceso fisiológico mediante el cual se generan las células sanguíneas (glóbulos rojos, blancos y plaquetas) a partir de células madre en la médula ósea.

Quilomicrones: Complejos lipoproteicos que transportan lípidos (grasas) absorbidos en el intestino a través del sistema linfático hacia la sangre.

Vasomotricidad: Capacidad de contracción y relajación de los vasos linfáticos, lo que ayuda a impulsar la linfa sin la necesidad de una bomba central como el corazón.

Linfa: Líquido corporal transparente o amarillento que circula por los vasos linfáticos, contiene linfocitos, proteínas, lípidos y a veces microorganismos.

Linfocitos T: Tipo de célula inmunitaria que madura en el timo y desempeña funciones clave en la respuesta inmune adaptativa, como destruir células infectadas.

Intersticial: Relativo al espacio entre las células y tejidos, donde se acumula el líquido que será drenado por el sistema linfático.

MALT (Tejido linfoide asociado a mucosas): Conjunto de estructuras inmunológicas situadas en las mucosas del tracto digestivo, respiratorio y genitourinario, encargadas de detectar y responder a antígenos.

Antígenos: Moléculas extrañas (generalmente proteínas) que el sistema inmunitario reconoce como amenazas, lo que desencadena una respuesta inmunitaria.

Macrófagos: Células del sistema inmunológico que fagocitan (engullen y destruyen) microorganismos, células dañadas o muertas, y partículas extrañas.

Conducto torácico: Principal vaso linfático del cuerpo humano, responsable de drenar la linfa desde la mayor parte del cuerpo hacia el sistema venoso.

Antígeno: Sustancia que desencadena una respuesta inmunitaria.

Citoquina: Molécula que regula la actividad de las células inmunes.

Linfocito: Tipo de glóbulo blanco clave en la respuesta adaptativa.

Inmunoglobulina: Anticuerpo producido por linfocitos B.

PAMPs: Patrones moleculares reconocidos por el sistema inmune innato.

TLR: Receptores del sistema inmune que detectan PAMPs.

MHC: Moléculas que presentan antígenos a linfocitos T.

Inmunosupresor: Fármaco que reduce la respuesta inmunitaria.

Inmunoestimulante: Sustancia que potencia la actividad del sistema inmune.

Memoria inmunológica: Capacidad del sistema inmune de recordar un antígeno.

Inmunomodulador: Sustancia que regula la actividad del sistema inmune.

Linfocito T: Célula que coordina o destruye células infectadas

Antimetabolito: Fármaco que bloquea la síntesis de ADN.

NF-κB: Proteína que activa genes inflamatorios.

Citocina: Molécula que comunica entre células inmunes.

Inhibidor de calcineurina: Fármaco que suprime linfocitos T.

Adyuvante: Sustancia que refuerza las vacunas.

PAMP: Señal que delata a un patógeno.

Inhibidor de punto de control: Fármaco que libera el ataque inmune contra tumores.

CAR-T: Células T modificadas para atacar cáncer.

Nefrona: Unidad funcional del riñón encargada de filtrar la sangre y formar la orina.

Renina: Hormona producida por el riñón que ayuda a aumentar la presión arterial.

Reabsorción: Proceso por el cual el riñón recupera agua y sustancias útiles del filtrado.

Corpúsculo renal: Estructura que filtra el plasma; está formado por el glomérulo y la cápsula de Bowman.

Túbulo colector: Parte final de la nefrona donde se ajusta la cantidad de agua en la orina bajo control hormonal.

Células intercaladas: Células que eliminan hidrogeniones para mantener el equilibrio ácido-base del cuerpo.

Eritropoyetina: Hormona producida por los riñones que estimula la formación de glóbulos rojos cuando hay bajos niveles de oxígeno (hipoxia).

Renina: Enzima secretada por el aparato yuxtaglomerular que inicia una cadena hormonal para aumentar la presión arterial y retener agua y sodio.

Péptido natriurético: Hormona que favorece la eliminación de sodio y agua por la orina, ayudando a bajar la presión arterial.

Filtración glomerular: Primer paso en la formación de orina, donde el plasma sanguíneo pasa desde los capilares del glomérulo a la cápsula de Bowman.

Detrusor: Músculo liso de la vejiga que se contrae para expulsar la orina durante la micción.

Calcitriol: Forma activa de la vitamina D, producida por los riñones, que permite la absorción del calcio en el intestino.

Cistatina C: Proteína que sirve como biomarcador para detectar disminución en la función renal antes de que lo haga la creatinina.

KIM-1 (Kidney Injury Molecule-1): Molécula que aparece en la orina cuando hay daño temprano en los túbulos renales, útil para diagnóstico precoz.

Apoptosis: Muerte celular programada que puede ser inducida en las células renales por tóxicos o inflamación, sin causar inflamación.

Estrés oxidativo: Desequilibrio entre radicales libres y antioxidantes, que daña células del riñón y contribuye a enfermedades renales.

Tasa de Filtración Glomerular (TFG): Indicador clínico de cuánta sangre filtran los glomérulos por minuto; clave para clasificar la insuficiencia renal.

Síndrome glomerular: Conjunto de manifestaciones clínicas (como proteinuria y edema) que indican daño en la parte filtrante del riñón (glomérulo).

Absorción: Proceso mediante el cual los nutrientes digeridos atraviesan la mucosa intestinal y pasan a la sangre o la linfa para ser distribuidos por el organismo.

Ácido clorhídrico (HCl): Sustancia secretada en el estómago que mantiene un pH ácido, activa la pepsina y ayuda a destruir microorganismos ingeridos.

Amilasa salival: Enzima producida por las glándulas salivales que inicia la digestión de carbohidratos en la boca.

Bilis: Líquido producido por el hígado y almacenado en la vesícula biliar, esencial para la emulsificación de grasas.

Cardias: Región del estómago que conecta con el esófago y evita el reflujo del contenido gástrico.

Colecistoquinina (CCK): Hormona que estimula la liberación de bilis y enzimas pancreáticas en respuesta a grasas en el intestino.

Deglución: Proceso mediante el cual el bolo alimenticio pasa de la boca al esófago.

Duodeno: Primera porción del intestino delgado donde se vierten las secreciones del hígado y páncreas para continuar la digestión.

Enterocito: Célula del epitelio intestinal encargada de la absorción de nutrientes.

Esófago: Conducto muscular que transporta el alimento desde la faringe al estómago mediante movimientos peristálticos.

Íleon: Parte final del intestino delgado, responsable de absorber vitamina B12, sales biliares y nutrientes restantes.

Intestino delgado: Segmento del sistema digestivo (duodeno, yeyuno, íleon) donde ocurre la mayor parte de la digestión y absorción.

Intestino grueso: Parte final del tubo digestivo donde se reabsorbe agua y se forman las heces.

Lipasa pancreática: Enzima que degrada los triglicéridos en ácidos grasos y monoglicéridos en el intestino delgado.

Lípidos: Grasas y aceites que son degradados durante la digestión en ácidos grasos y glicerol.

Micelas: Estructuras formadas por lípidos y sales biliares que permiten su transporte a la superficie del enterocito.

Motilidad intestinal: Movimiento coordinado del tubo digestivo que impulsa el contenido alimenticio.

Omeprazol: Fármaco inhibidor de la bomba de protones que reduce la secreción de ácido gástrico.

Pancreas: Órgano con funciones exocrinas (secreción de enzimas digestivas y bicarbonato) y endocrinas (insulina y glucagón).

Pepsina: Enzima activa en el estómago que inicia la digestión de las proteínas.

Peristalsis: Contracciones musculares rítmicas del tubo digestivo que impulsan el bolo alimenticio.

Gastrina: Hormona producida en el estómago que estimula la secreción de ácido y la motilidad gástrica.

Quimo: Mezcla semilíquida de alimento parcialmente digerido que se forma en el estómago y pasa al intestino delgado.

Quilomicrones: Lipoproteínas que transportan lípidos absorbidos desde el intestino hacia la circulación linfática.

Ranitidina: Fármaco antagonista de los receptores H_2 usado para reducir la secreción ácida del estómago.

Secretina: Hormona que estimula al páncreas a liberar bicarbonato para neutralizar el quimo ácido en el duodeno.

Sistema nervioso entérico: Red de neuronas en la pared del tubo digestivo que regula funciones como secreción y motilidad de forma autónoma.

Vellosidades intestinales: Proyecciones delgadas del intestino delgado que aumentan la superficie para la absorción de nutrientes.

Vesícula biliar: Órgano que almacena y libera bilis al duodeno en respuesta a la presencia de grasas.

Yeyuno: Porción media del intestino delgado, especializada en la absorción de nutrientes.

Ángulo esternal: Punto anatómico donde se une el manubrio con el cuerpo del esternón. Es una referencia clínica para contar costillas y detectar válvulas cardíacas.

Anfiartrosis: Tipo de articulación con movilidad limitada (funcionalmente semimóviles), como las que se encuentran entre las vértebras.

Apófisis xifoides: Extremo inferior del esternón que se une al cuerpo esternal formando la articulación xifoesternal.

Articulaciones: Estructuras que unen dos o más huesos, clasificadas según su estructura y su función en sinartrosis, anfiartrosis y diartrosis.

Atlas: Primera vértebra cervical (C1) que sostiene el cráneo y permite el movimiento de afirmación (asentir con la cabeza).

Axis: Segunda vértebra cervical (C2) que permite el movimiento de rotación o negación con la cabeza.

Diartrosis: Articulaciones de movimiento libre, como la rodilla o el codo.

Esternón: Hueso plano ubicado en el centro del pecho, formado por la fusión de tres partes: manubrio, cuerpo y apófisis xifoides.

Escotadura yugular: Depresión visible en la parte superior del manubrio esternal, al nivel de la tercera vértebra torácica.

Hematopoyesis: Proceso de formación de células sanguíneas, que ocurre principalmente en la médula ósea.

Hueso etmoides: Hueso irregular que forma parte del canal nasal y de las órbitas; contiene la crista galli y las láminas cribosas.

Sinartrosis: Articulaciones inmóviles, como las suturas del cráneo.

Acetilcolina (ACh): Neurotransmisor liberado por las neuronas motoras en la unión neuromuscular. Inicia la contracción muscular al generar un potencial de acción en la fibra muscular.

Actina: Proteína que forma los filamentos delgados en las miofibrillas; interactúa con la miosina durante la contracción muscular.

Cabezas de miosina: Prolongaciones de la miosina que se unen a la actina formando puentes cruzados durante la contracción.

Fascículo: Conjunto de fibras musculares agrupadas dentro de un músculo esquelético.

Fibras tipo I (lentas, oxidativas): Fibras que se contraen lentamente, son resistentes a la fatiga y usan metabolismo aeróbico.

Fibras tipo IIa (rápidas, oxidativo-glucolíticas): Fibras con contracción rápida y resistencia intermedia a la fatiga. Utilizan tanto metabolismo aeróbico como anaeróbico.

Fibras tipo IIb (rápidas, glucolíticas): Fibras con contracción muy rápida, pero poca resistencia a la fatiga. Usan metabolismo anaeróbico y son comunes en movimientos explosivos.

Golpe de potencia: Movimiento que ocurre cuando la cabeza de miosina tira del filamento de actina, acortando el sarcómero.

Miofibrillas: Estructuras cilíndricas dentro de las fibras musculares, compuestas por filamentos de actina y miosina, responsables de la contracción.

Actina y miosina: Proteínas contráctiles del músculo que interactúan para permitir la contracción muscular. Su acción depende del calcio y del ATP.

AINEs (Antiinflamatorios No Esteroideos): Grupo de fármacos que inhiben las enzimas ciclooxigenasas (COX), reduciendo la producción de prostaglandinas y aliviando inflamación y dolor.

Artritis reumatoide: Enfermedad autoinmune crónica que afecta las articulaciones, causando inflamación, dolor y destrucción progresiva del tejido articular.

ATP (Adenosín Trifosfato): Molécula que almacena y transporta energía en las células. Es fundamental para procesos como la contracción muscular.

Bifosfonatos: Medicamentos usados para tratar la osteoporosis. Inhiben la actividad de los osteoclastos, reduciendo la resorción ósea.

Calcitonina: Hormona producida por la glándula tiroides que ayuda a regular el nivel de calcio en sangre, inhibiendo la actividad osteoclástica.

Ciclooxigenasas (COX): Enzimas que intervienen en la producción de prostaglandinas. Son el blanco principal de los AINEs.

Contracción muscular: Proceso bioquímico por el cual el músculo se acorta y genera movimiento. Involucra actina, miosina, calcio y ATP.

Densidad mineral ósea: Medida de la cantidad de minerales (principalmente calcio) en los huesos. Es un indicador clave en el diagnóstico de osteoporosis.

Vagina: Conducto muscular que conecta el útero con el exterior; permite el paso del flujo menstrual, el parto y la relación sexual.

Útero: Órgano muscular en forma de pera donde se desarrolla el embarazo; su capa interna (endometrio) cambia durante el ciclo menstrual.

Ovarios: Glándulas femeninas que producen óvulos y hormonas sexuales como estrógenos y progesterona.

Testículos: Glándulas masculinas que producen espermatozoides y la hormona testosterona.

Próstata: Glándula masculina que secreta un fluido que nutre y protege a los espermatozoides.

FSH (Hormona foliculoestimulante): Estimula el desarrollo de folículos ováricos en mujeres y la producción de espermatozoides en hombres.

LH (Hormona luteinizante): Induce la ovulación en mujeres y estimula la producción de testosterona en hombres.

Ovulación: Proceso en el que un ovario libera un óvulo maduro, generalmente en la mitad del ciclo menstrual.

Testosterona: Hormona sexual masculina que regula el deseo sexual, la masa muscular y la producción de esperma.

Ciclo menstrual: Conjunto de cambios hormonales y fisiológicos que prepara el cuerpo femenino para un posible embarazo.

Menopausia: Etapa en la que cesa la menstruación por el agotamiento de los folículos ováricos; disminuyen los niveles de estrógenos.

Estrógenos: Hormonas sexuales femeninas esenciales para el ciclo menstrual, salud ósea y características sexuales secundarias.

REFERENCIAS

Aguilar, J. (2011). La estructura del sistema nervioso. México.

Alberto, P. M. C., & Carlos, H. L. J. (n.d.). Tratamiento farmacológico de alteraciones neuropsiquiátricas del daño cerebral traumático. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003 4- 74502007000500007

Balero, M., Battista, V., Violeta, D. L., Lupo, M., Marchese, M. C., Méndes, N. I., Martino, L., Paleari, S. A., Rigalli, A., Natividad, R. D. F., Sánchez, C. L., Vaquero, S. P.,

Carrillo, A. (2019, enero 28). *Sistema Nervioso Central (SNC): partes, funciones y enfermedades*. pymOrganization. https://psicologiaymente.com/neurociencias/sistema-nervioso-central

Cipolla, M. J. (2009). Barriers of the CNS. In *www.ncbi.nlm.nih.gov*. Morgan & Claypool Life Sciences. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK53084/

Codina, E., Mancini, V., & Sánchez, M. (2021). Sistema nervioso. En A. Vilches & T. Legarralde (Coords.), Aspectos biológicos de la complejidad humana (pp. 159-196). Universidad Nacional de La Plata; EDULP.

Cormack, D. H. (1988). Histología de Ham (9.ª ed.). Harla.

Ferreres, A. R. (2022). Práctico 1: Anatomía del sistema nervioso humano [PDF]. Cátedra I de Neurofisiología, Facultad de Psicología, Universidad de Buenos Aires.

Flament-Durand J. El hipotálamo: anatomía y funciones. Acta Psychiatr Belg. 1980 julago; 80 (4):364-75.

Freedman, M. (2023, December 2). Abordaje al paciente neurológico. Manual MSD Versión Para Profesionales. https://www.msdmanuals.com/es/professional/trastornos-neurol%C3%B3gicos/abordaje-al-paciente-neurol%C3%B3gico/abordaje-al- paciente-neurol%C3%B3gico

Gronich, N. (2024). Central Nervous System Medications: Pharmacokineticand Pharmacodynamic Considerations for Older Adults. Drugs & Aging, 41(6), 507- 519. https://doi.org/10.1007/s40266-024-01117-w

Infermera Virtual. (2013). Sistema nervioso. Col·legi Oficial d'Infermeres i Infermers de Barcelona. https://www.infermeravirtual.com/files/media/file/99/Sistema%20nervioso.pdf

Marieb, E. N. (2008b). Anatomía y fisiología humana. ADDISON WESLEY.

Nattie, E., & Li, A. (2012). Central chemoreceptors: Locations and functions. Comprehensive Physiology, 2(1), 221-254. https://doi.org/10.1002/cphy.c100083

Navarro, B. (2024, April 24). *Histología del tejido nervioso*. Kenhub. https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/histologia-del-tejido-nervioso

Poitelon, Y., Kopec, A. M., & Belin, S. (2020). Myelin Fat Facts: An Overview of lipids and fatty acid metabolism. Cells, 9(4), 812. https://doi.org/10.3390/cells9040812

Cleveland Clinic. (2022, 14 de marzo). Neurotransmitters: What they are, functions & types. https://my.clevelandclinic.org/health/articles/22513-neurotransmitters

Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., Mooney, R. D., Platt, M. L., y White, L. E. (Eds.). (2018). Neuroscience (6.ª ed.). Sinauer Associates/Oxford University Press.

Shipp S. Estructura y función de la corteza cerebral. Curr Biol. 19 de junio de 2007; 17 (12):R443-9.

Arene, E., y Melgarejo, J. (1980). Neuroanatomía. La Paz.

Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2016). Neuroscience: Exploring the brain (4.ª ed.). Wolters Kluwer.

Carlson, N. (1996). Fundamentos de la psicología fisiológica. México.

Corr, P.J. (2008). Psicología y biología. México.

Downie, P. (1997). Neurología para fisioterapeutas. Bueno Aires

Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A., & Hudspeth, A. J. (2021). Principles of neural science (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Lanciego JL, Luquin N, Obeso JA. Neuroanatomía funcional de los ganglios basales. Cold Spring Harb Perspect Med. 1 de diciembre de 2012; (12):a009621

Netter, F. H. (2018). Atlas of human anatomy (7.ª ed.). Elsevier.

Rouvière, H., Delmas, A., & Delmas, V. (2020). Anatomía Humana: Descriptiva, Topográfica y Funcional, Tomo 4: Sistema Nervioso Central.

Snell, R. (2003). Neuroanatomía clínica. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires.

Alberts, B. et al. (2022). *Molecular Biology of the Cell* (7th ed.). Garland Science.

Bartholomew, E. F. (2017). Fundamentals of Anatomy & Physiology (11th ed.). Pearson.

Bernard, C. (1957). *An Introduction to the Study of Experimental Medicine* (H. C. Greene, Trans.). Dover. (Original work published 1865).

Brunton, L. L. et al. (2022). *Goodman & Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics* (14th ed.). McGraw-Hill.

Burtis, C. A., & Bruns, D. E. (2018). *Tietz Fundamentals of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics* (8th ed.). Elsevier.

Cannon, W. B. (1963). *The Wisdom of the Body* (Rev. ed.). Norton. (Original work published 1932).

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). Tratado de fisiología médica (14.ª ed.). Elsevier.

Hall, J. E. (2016). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (13th ed.). Elsevier.

Hashemi, R. H., Lisanti, C. J., y Bradley, W. G. (2017). MRI: The basics (4.ª ed.). Wolters Kluwer.

Khan Academy. (s.f.). Introducción a anatomía y fisiología. En Health and Medicine. https://www.khanacademy.org/science/health-and-medicine/human-anatomy-and-physiology

Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2018). Anatomía y fisiología humanas (10.ª ed.). Pearson Educación.https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/anatomy-physiology/P200000007816

Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2019). Anatomía y fisiología humanas (10.ª ed.). Pearson Educación

Martini, F. H., Nath, J. L., & Bartholomew, E. F. (2014). Fundamentals of anatomy & physiology (10th ed.). Pearson.

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2020). Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance (9th ed.). Wolters Kluwer.

Nutton, V. (2013). Ancient medicine (2.ª ed.). Routledge.

OpenStax. (2023). Anatomy and Physiology. OpenStax, Rice University.

OpenStax CNX (Rice University). (2022). Anatomy and Physiology. OpenStax. https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology/pages/1-introduction

Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., Mooney, R. D., Platt, M. L., y White, L. E. (Eds.). (2018). Neuroscience (6.ª ed.). Sinauer Associates/Oxford University Press.

Ross, M. H., & Pawlina, W. (2015). Histología: Texto y atlas color con biología celular y molecular (7.ª ed.). Wolters Kluwer.

Rumack, C. M., y Levine, D. (2018). Diagnostic ultrasound (5.ª ed.). Elsevier.

Saladin, K. S. (2015). Anatomía y fisiología: La unidad entre forma y función (7.ª ed.). McGraw-Hill Education

Silverthorn, D. U. (2016). Fisiología humana: Un enfoque integrado (7.ª ed.). Pearson Educación.

Standring, S. (Ed.). (2016). Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice (41.ª ed.). Elsevier.

Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2018). Principios de anatomía y fisiología (15.ª ed.). Editorial Médica Panamericana. https://www.medicapanamericana.com/Libros/Libro/9788498358694/Principios-de-Anatomia-y-Fisiologia

Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2018). Principios de anatomía y fisiología (15.ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

Von Staden, H. (1989). Herophilus: The art of medicine in early Alexandria. Cambridge University Press.

Widmaier, E. P., Raff, H., & Strang, K. T. (2019). Vander's human physiology: The mechanisms of body function (15.ª ed.). McGraw-Hill.

West, J. B., y Luks, A. M. (2016). West's respiratory physiology: The essentials (10.ª ed.). Wolters Kluwer.

Drake, R. L., Vogl, A. W., y Mitchell, A. W. M. (2019). Gray's anatomy for students (4.ª ed.). Elsevier.

MedlinePlus Hormones: https://medlineplus.gov/hormones.htm

Kenhub.

American Physiological Society. https://journals.physiology.org

Anatomía de las glándulas endocrinas. https://www.kenhub.com/es

Azucas, D. R. (Octubre de 2023). *Testículos*. Obtenido de Kenhub: https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/testiculos-es

DrTango, I. (Diciembre de 2023). *Hipotálamo*. Obtenido de Medlineplus: https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002380.htm

El personal de Ignite Healthwise, L. (s.f.). *Glándula tiroidea y glándulas paratiroideas*. Obtenido de Ignite Healthwise: https://www.cigna.com/es-us/knowledge-center/hw/glndula-tiroidea-y-glndulas-paratiroideas-aa125286

Endocrine Society - Hormone Health Network: https://www.hormone.org

Grossi, D. L. (Octubre de 2024). *Glándulas suprarrenales: función, hormonas y principales enfermedades*. Obtenido de Tua Saúde: https://www.tuasaude.com/es/glandula-suprarrenal/

Guzmán, D. M. (Octubre de 2023). *Páncreas (anatomía)*. Obtenido de Kenhub: https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/pancreas-anatomia-funciones-estructura

Lecturio. (2024). Anatomía del páncreas. https://www.lecturio.com/es/concepts/pancreasanatomia/

National Center for Biotechnology Information (NCBI) - PubMed: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

NETTER, F. H. (2000). Testículos. Obtenido de Atlas de anatomía humana: https://www.auladeanatomia.com/es/sistemas/395/testiculos

Serrano, D. C. (Octubre de 2023). *Ovarios*. Obtenido de Kenhub: https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/ovarios

Stanley Oiseth, L. J. (Enero de 2024). *Páncreas: Anatomía*. Obtenido de Lecturio: https://www.lecturio.com/es/concepts/pancreas-anatomia/

TEKNON, C. M. (s.f.). *Paratiroides*. Obtenido de CENTRO MEDICO TEKNON: https://www.teknon.es/es/especialidades/raventos-negra-jose-maria/tiroides-paratiroides/paratiroides

Torres, D. A. (Octubre de 2023). *Glándula suprarrenal*. Obtenido de Kenhub: https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/glandula-suprarrenal

Tua Saúde. (2024). Glandula suprarrenal. https://www.tuasaude.com/es/glandula-suprarrenal

Anatomía y función de las válvulas del corazón. (s. f.). Stanford Medicine Children's Health. https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=anatomy-and-function-of-the-heart-valves-90-P06152

Ballesteros, D. P. (2009). *Anatomía del corazón*. Obtenido de Localización del corazón: https://www.fbbva.es/microsites/salud_cardio/mult/fbbva_libroCorazon_cap2.pdf

Ballesteros, J. (2009). *Anatomía y fisiología del corazón*. Editorial Médica Panamericana.

Barrett, K. E., et al. (2019). *Ganong's Review of Medical Physiology* (26.ª ed.). McGraw-Hill.

Betts, J. G., Young, K. A., Wise, J. A., Johnson, E., Poe, B., Kruse, D. H., Korol, O., Johnson, J. E., Womble, M., & DeSaix, P. (2022). *Anatomy and Physiology 2e*. OpenStax. https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology-2e/pages/20-1-structure-and-function-of-blood-vessels

Boron, W. F., & Boulpaep, E. L. (2017). *Medical physiology* (3rd ed.). Elsevier.

Comprimido: Anatomía del corazón | Cuidandote.net. (2012, 8 febrero). https://www.cuidandote.net/2012/02/comprimido-anatomia-del-corazon/

Costanzo, L. S. (2022). *Physiology* (7.ª ed.). Elsevier.

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). *Tratado de fisiología médica* (14.ª ed.). Elsevier.

Kenhub. (s.f.). *Sistema circulatorio (cardiovascular): Anatomía y funciones*. Kenhub. Recuperado el 19 de mayo de 2025, de https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/sistema-circulatorio-cardiovascular

Koeppen, B. M., & Stanton, B. A. (2017*). Berne & Levy Physiology* (7.ª ed.). Elsevier.

Lilly, L. S. (2020). *Pathophysiology of Heart Disease* (7.ª ed.). Wolters Kluwer.

maiposalud. (10 de Enero de 2018). *¿Porqué tu corazón es tan importante?* Obtenido de blog: https://maiposalud.cl/blog/porque-tu-corazon-es-tan-importante/

Maiposalud. (2018). *Importancia del corazón y prevención de enfermedades cardiovasculares*. https://www.maiposalud.cl

Megías, M. (2025). *Órganos animales. Sistema cardiovascular*. Atlas de Histología Vegetal y Animal.

Megías, M. (s.f.). *Sistema cardiovascular*. Atlas de Histología Vegetal y Animal. Universidad de Vigo. Recuperado el 19 de mayo de 2025, de https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-a/guiada_o_a_05cardiovascular.php

Mohrman, D. E., & Heller, L. J. (2018). *Cardiovascular Physiology* (9.ª ed.). McGraw-Hill.

Pombal, M. M. P. M. M. Á. (s. f.-a). *Órganos animales. Sistema cardiovascular. Atlas de Histología Vegetal y Animal*. https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-a/guiada_o_a_05cardiovascular.php

Rhoades, R. A., & Bell, D. R. (2012). *Medical Physiology: Principles for Clinical Medicine* (4.ª ed.). Wolters Kluwer.

Sánchez, M. C. (2022, 25 mayo). Hipotiroidismo: complicaciones de tratamiento tardío. *Medicina y Salud Pública*. https://medicinaysaludpublica.com/noticias/endocrinologiadiabetes/hipotiroidismo-complicaciones-de-tratamiento-tardio/13093

Silverthorn, D. U. (2018). *Human Physiology: An Integrated Approach* (8.ª ed.). Pearson.

The Texas Heart Institute. (2023, 18 abril). *Salud cardiovascular: Anatomía del corazón | The Texas Heart Institute®*. The Texas Heart Institute®. https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/anatomia-del-corazon/

Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2020). *Principios de Anatomía y Fisiología* (15.ª ed.). Panamericana.

Universidad de Vigo. https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-a/guiada_o_a_05cardiovascular.phpVista anterior del corazón: MedlinePlus enciclopedia médica illustración. (s. f.). https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/1097.htm

Cordova, D. G., Flores, E. N., García, R. R., & Salvador, J. C. R. (s/f). *Las plaquetas, unas células muy peculiares*. Ciencia UNAM. Recuperado el 6 de mayo de 2025, de

https://ciencia.unam.mx/leer/1215/las-plaquetas-unas-celulas-muy-peculiares

de 123RF, C. (s/f). *Sangre de glóbulos rojos*. 123RF. Recuperado el 6 de mayo de 2025, de https://es.123rf.com/photo_124932738_sangre-de-gl%C3%B3bulos-rojos.html

Diccionario de cáncer del NCI. (2011, febrero 2). Cancer.gov. https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/globulo-blanco

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). *Tratado de fisiología médica* (14.ª ed.). Elsevier.

Producción de glóbulos rojos. (s/f). Medlineplus.gov. Recuperado el 6 de mayo de 2025, de https://medlineplus.gov/spanish/ency/anatomyvideos/000104.htm

(S/f-e). Texasheart.org. Recuperado el 6 de mayo de 2025, de https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/la-sangre/#:~:text=La%20sangre%20transporta%20ox%C3%ADgeno%20de,filtran%20y%20limpian%20la%20sangre.)

(S/f-f). Depositphotos.com. Recuperado el 6 de mayo de 2025, de https://depositphotos.com/es/illustrations/homeostasis.htmlSangre. (2012). *Blood, Heart and Circulation*. https://medlineplus.gov/spanish/blood.html

Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2018). *Principios de anatomía y fisiología* (15.ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

Visible Body, & part of Cengage Learning. (s/f-a). *Funciones circulatorias de la sangre*. Visiblebody.com. Recuperado el 6 de mayo de 2025, de https://www.visiblebody.com/es/learn/circulatory/circulatory-functions-of-the-blood

Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. (2022). Cellular and Molecular Immunology (10.ª ed.). Elsevier.

Bujoreanu, I., & Gupta, V. (2023, 25 julio). Anatomy, lymph nodes. StatPearls - NCBI Bookshelf. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/books/NBK557717/

Curso de Introducción a la Inmunologia Porcina. Segunda Edición - JM Sánchez-Vizcaíno. (s. f.). http://apps.sanidadanimal.info/cursos/inmunologia/ca013.htm

Diccionario de cáncer del NCI. (s. f.). Cancer.gov. https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/bazo

Diccionario de cáncer del NCI. (s. f.-b). Cancer.gov

Diccionario de cáncer del NCI. (s. f.-b). Cancer.gov. https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/sistema-linfatico

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). *Tratado de fisiología médica* (14.ª ed.). Elsevier.

Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2019). *Fundamentals of Human Anatomy & Physiology* (11th ed.). Pearson.

Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2022). Guía de práctica clínica para el manejo de la infección por VIH en adultos. Quito: MSP. https://www.salud.gob.ec

Murphy, K., & Weaver, C. (2016). Janeway's Immunobiology (9.ª ed.). Garland Science.

Oiseth, S., Jones, L., & Maza Guia, E. (2025, 31 marzo). Órganos linfáticos secundarios. https://www.lecturio.com/es/concepts/organos-linfaticos-secundarios/

Organización Mundial de la Salud. (2023). Directrices consolidadas sobre la prevención, el diagnóstico, el tratamiento y la atención del VIH para las personas que viven con el VIH. OMS.

Quevedo, M., & Joaquín, H. (2004). La enseñanza de la Inmunología en la carrera de Farmacia en la Universidad de Oriente. Educación médica superior (Impresa), 18(4), 1–1. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21412004000400007

Toche, P. (2012). Visión panorámica del sistema inmune. Revista Médica Clínica Las Condes, 23(4), 446-457. https://doi.org/10.1016/S0716-8640(12)70335-8

Saladin, K. S. (2018). *Anatomía y fisiología: La unidad entre forma y función* (8.ª ed.). McGraw-Hill.

SalusPlay. (s. f.). *Inmunomoduladores: clasificación y aplicaciones clínicas*. Plataforma de formación sanitaria.

Silverthorn, D. U. (2019). *Fisiología humana: Un enfoque integrado* (7ª ed.). Pearson Educación.

Timo. (2023, 21 abril). Kenhub. https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/timo

Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2018). *Principios de anatomía y fisiología* (15.ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2019). Principles of Anatomy and Physiology (13.ª ed.). Wiley. https://cbtis54.edu.mx/wp-content/uploads/2024/04/Principios-de-Anatomia-y-Fisiologia-Tortora- Derrickson.pdf

Universidad de Valencia. La respuesta inmune innata y la adaptativa.

Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO). El sistema inmunitario, el escudo Universidad de Buenos Aires (UBA). Respuesta Inmune Innata.

Universidad de Los Andes. Fisiología de la respuesta inmune: innata y adaptativa.

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2020). *Fundamentos de inmunología*. Facultad de Medicina, UNAM.

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Tipos de Inmunidad (Innata y Adquirida). Universitat de València. (s. f.). Inmunología general. Facultad de Ciencias Biológicas. /www.lecturio.com/es/concepts/organos-linfaticos-secundarios/

Zenteno-Savín, T., Reyes-Ramos, C. A., Symon, T. E., Ramirez-Jirano, L. J., Bitzer-Quintero, O. K., & Gaxiola-Robles, R. (2020). Bases del funcionamiento del sistema inmune. https://doi.org/10.18846/renaysoc.2020.06.06.01.0005

Deeks, S. G., Lewin, S. R., & Havlir, D. V. (2013). The end of AIDS: HIV infection as a chronic disease. The Lancet, 382(9903), 1525–1533. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61809-7

Young, B., O'Dowd, G., & Woodford, P. (2014). *Histología funcional* (6.ª ed.). Elsevier España

Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2018). *Anatomía con orientación clínica* (7.a ed.). Wolters Kluwer.

Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2017). *Principios de Anatomía y Fisiología* (15.a ed.). Wiley.

de Groat, W. C., Griffiths, D., & Yoshimura, N. (2015). Neural control of the lower urinary tract. *Comprehensive Physiology*, 5(1), 327–396.

Brigham and Women´s Hospital. (01 de 01 de 2023). *https://healthlibrary.brighamandwomens.org*. Obtenido de https://healthlibrary.brighamandwomens.org/spanish/Search/85%2CP04568

Enfermeria Barcelona. (06 de 11 de 2014). *https://www.infermeravirtual.com.* Obtenido de https://www.infermeravirtual.com/files/media/file/103/Sistema%20urinario.pdf?1358606115=

Guzmán, D. M. (29 de 11 de 2023). *https://www.kenhub.com*. Obtenido de https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/sistema-urinario

Stanford Medicine. (21 de 02 de 2024). *https://www.stanfordchildrens.org*. Obtenido de https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=anatomy-of-the-urinary-system-85-P04568

Flores, J. L., Cortés, G. A., & ., S. W. (13 de Septiembre de 2023). *National library of medicine*. Obtenido de National library of medicine: https://www.ncbi.nlm.nih.gov

Hall, J. E. (2021). *Guyton y Hall. Compendio de fisiología médica* (14.ª ed.). Elsevier.

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). *Tratado de fisiología médica* (14.ª ed.). Elsevier.

Pemberthy López, C., Gutiérrez Restrepo, J., Arango Salazar, N., Monsalve, M., Giraldo Alzate, N., Gutiérrez Henao, F., & Amariles, P. (2011). Aspectos clínicos y farmacoterapéuticos de la infección del tracto urinario. Revisión estructurada. *Ces medicina*, *25*(2), 135–152. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-87052011000200003

Brenner, B. M., & Rector, F. C. (2020). *The kidney* (11th ed.). Elsevier.

Katzung, B. G. (2021). *Farmacología básica y clínica* (15.ª ed.). McGraw-Hill.

Ortiz Sánchez, Y., García Tasé, M. M., Rosales Arias, K. K., & Figueredo Arias, L. (2007). Utilización de fármacos en la insuficiencia renal. *Revista cubana de farmacia*, *41*(2), 0–0. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152007000200010

Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2018). *Principios de anatomía y fisiología* (15.ª ed.). Médica Panamericana.

Drake, R. L., Vogl, W., & Mitchell, A. W. M. (2015). *Gray. Anatomía para estudiantes* (3.a ed.). Elsevier.

Belyayeva, M., Leslie, S. W., & Jeong, J. M. (2025). Acute pyelonephritis. En *StatPearls*. StatPearls Publishing.

Brunton, L. L., Hilal-Dandan, R., & Knollmann, B. C. (2018). Goodman & Gilman's the pharmacological basis of therapeutics (13th ed.). McGraw-Hill Education.

Champe, P. C., Harvey, R. A., & Ferrier, D. R. (2014). *Bioquímica ilustrada de Harper* (29.ª ed.). McGraw-Hill Education. ISBN: 9781455775662. https://www.mheducation.es/bioquimica-ilustrada-de-harper-29-edicion-9781455775662.html

El aparato digestivo y su funcionamiento - NIDDK. (s. f.). National Institute Of Diabetes And Digestive And Kidney Diseases. https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-digestivas/aparato-digestivo-funcionamiento

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). *Tratado de fisiología médica* (14.ª ed.). Elsevier España. ISBN: 9788413820132.

https://tienda.elsevier.es/guyton-hall-tratado-de-fisiologia-medica-9788413820132.html

Martini, F. H., Nath, J. L., & Bartholomew, E. F. (2017). *Fundamentals of Anatomy & Physiology* (11th ed.). Pearson Education. ISBN: 9780134396026. https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/fundamentals-of-anatomy--physiology/P200000006829/9780136874089

Rang, H. P., Dale, M. M., Ritter, J. M., Flower, R. J., & Henderson, G. (2020). *Farmacología* (9.ª ed.). Elsevier. ISBN: 978-84-9113-558-6. https://tienda.elsevier.es/farmacologia-9788491135877.html

Ross, M. H., & Pawlina, W. (2020). *Histología: Texto y atlas en color con biología celular y molecular* (8.ª ed.). Wolters Kluwer.

Sistema digestivo. (2023, 30 octubre). Kenhub. https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/sistema-digestivo

Sistema digestivo. (s. f.). McGraw Hill Medical. https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=2163§ionid=162712405&jumpsectionID=162712466

Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2018). *Principios de anatomía y fisiología* (15.ª ed.). Editorial Médica Panamericana. ISBN: 9788491106020. https://www.medicapanamericana.com/international/libros/principios-de-anatomia-y-fisiologia-15a-edicion

Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2020). *Principios de anatomía y fisiología* (16.ª ed.). Panamericana.

Bibliografía complementaria

Goodman & Gilman (2023). *Las bases farmacológicas de la terapéutica* (14.ª ed.). McGraw-Hill Education. ISBN: 9781264285614. https://www.mheducation.es/goodman-gilman-las-bases-farmacologicas-de-la-terapeutica-14a-edicion-9781264285614.html

Murray, R. K., Bender, D. A., Botham, K. M., Kennelly, P. J., Rodwell, V. W., & Weil, P. A. (2021). *Bioquímica ilustrada de Harper* (31ª ed.). McGraw-Hill Education.

Young, B., O'Dowd, G., & Woodford, P. (2020). *Wheater's Functional Histology: A Text and Colour Atlas* (7th ed.). Elsevier.

Articulaciones y ligamentos. https://www.visiblebody.com/es/learn/skeleton/joints- and-ligament

Barone, R., y Szychlinska, M. A. (2023). Highlights in pathophysiology of the musculoskeletal system. International Journal of Molecular Sciences, 24(7), 6412.

Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2019). Biochemistry (9.ª ed.). W. H. Freeman.

Boron, W. F., & Boulpaep, E. L. (2016). Medical Physiology (3.ª ed.). Elsevier Health Sciences.

Braccini, V. P. (2021). Tipos de fibras musculares, identificação, características e qualidade da carne. Brazilian Journal of Development, 21180-21190.

Cleveland Clinic. (2022, 8 de febrero). Axial skeleton: What bones it makes up. https://my.clevelandclinic.org/health/body/22344-axial-skeleton

Ferrier, D. R. (2017). Bioquímica (7.ª ed.). Lippincott Williams & Wilkins. ISBN: 9788416781805.

Huesos. (2023, 30 de octubre). Kenhub. https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/huesos

Katz, A. M. (2010). Physiology of the Heart (5.ª ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Katz, A. M. (2010). Physiology of the Heart (5.ª ed.). Lippincott Williams & Wilkins. (Fuente esencial para la dinámica de los canales de calcio).

Lieber, R. L. (2010). Skeletal Muscle Structure, Function, and Plasticity (3.ª ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Marieb, E. N. (2008). Anatomía y fisiología humana (9.ª ed.). Pearson Educación. ISBN 9788478290949.

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2022). Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance (9.ª ed.). Wolters Kluwer.

Moczydlowski, E. G. (2017). Fisiología celular del músculo esquelético, cardíaco y liso.

Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2020). Fundamentos de anatomía con orientación clínica (6.ª ed.). Wolters Kluwer. ISBN: 9788417602512. https://www.edicionesjournal.com/Papel/9788417602512/Moore++Fundamentos+De

Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2021). Lehninger Principles of Biochemistry (8.ª ed.). Macmillan Learning.

Padrón, R. (2008). El mecanismo molecular de la regulación de la contracción muscular.

Powers, J. M. (2021). La teoría de filamentos deslizantes desde Andrew Huxley: investigación muscular multiescala y multidisciplinaria. Revista anual de biofísica, 373-400.

Rang, H. P., Dale, M. M., Ritter, J. M., Flower, R. J., & Henderson, G. (2016). Farmacología (8.ª ed.). Elsevier España. ISBN: 9788490229583.

Silverthorn, D. U. (2018). Human Physiology: An Integrated Approach (8.ª ed.). Pearson.

Tank, P. W., y Gest, T. R. (2008). Atlas de anatomía humana. Artmed Editora.

Verges, A. V. (2022). Participación de panx-1 en la entrada de calcio acoplada a excitación (ecce) frente a estímulos despolarizantes en células musculares adultas de ratón. Repositorio academico de la universidad de Chile.

Visible Body. (s. f.). Aprenda anatomía del esqueleto: articulaciones y ligamentos. Cengage Learning.

https://www.visiblebody.com/es/learn/skeleton/joints-and-ligaments

Alberts, B., et al. (2014). Molecular Biology of the Cell (6.ª ed.). Garland Science.

Barrett, K. E., et al. (2019). Ganong's Review of Medical Physiology (26.ª ed.). McGraw-Hill.

Brunton, L. L., et al. (2017). Goodman & Gilman's: The Pharmacological Basis of Therapeutics (13.ª ed.). McGraw-Hill.

CHOSPAB. (2011). Anatomía del sistema reproductor femenino (pp. 3, 5-6)

Cleveland Clinic. (2023, 8 de mayo). Male Reproductive System: Structure & Function. Recuperado de https://my.clevelandclinic.org/health/body/9117-male-reproductive-system

Costanzo, L. S. (2022). Physiology (7.ª ed.). Elsevier.

El Mundo Salud. (2006). Aparato reproductor femenino. Recuperado de https://www.elmundo.es/elmundosalud/especiales/2006/06/salud_mujer/aparato_reproductor/index.htm

Galliano, D., y Cesario, S. C. (2021). *Histología y Embriología II*. Instituto Universitario CEMIC. https://www.cemic.edu.ar/descargas/repositorio/2guia%2010%20aparato%20genital%20masculino.pdf

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2016). *Tratado de fisiología médica* (13.ª ed.). Elsevier.

Guyton, A. C., y Hall, J. E. (2021). Tratado de fisiología médica (14.ª ed.). Elsevier.

Hirsch, I. H. (2023). *Estructura del aparato reproductor masculino*. Manual MSD, versión para público general. Recuperado de https://www.msdmanuals.com/es/hogar/salud-masculina/biolog%C3%ADa-del-aparato-reproductor-masculino/estructura-del-aparato-reproductor-masculino

IARC Screening Group. (2025). Introducción a la anatomía del cuello uterino (p. 7). Recuperado de https://screening.iarc.fr/doc/colpochapteres01.pdf

Infermera Virtual. (2014). Sistema reproductor femenino. Recuperado de https://www.infermeravirtual.com/files/media/file/105/Sistema%20reproductor%20femenino.pdf?1358605661

Jameson, J. L., et al. (2015). Endocrinology: Adult and Pediatric (7.ª ed.). Saunders.

Koeppen, B. M., & Stanton, B. A. (2017). Berne & Levy Physiology (7.ª ed.). Elsevier.

LIBRO-PEDIA Ciencias Naturales - elbibliote.com. (s. f.). Aparato Reproductor masculino. https://elbibliote.com/libro-pedia/manual_csnaturales/6grado/capitulo12/tema03.php?naturales=1&docente=1&g=6&c=12&t=3

MacLennan, A. H., Broadbent, J. L., Lester, S., & Moore, V. (2004). *Hormone replacement therapy versus placebo for hot flushes*.

Cochrane Database of Systematic Reviews, 2004(4), CD002978. https://doi.org/10.1002/14651858.CD002978.pub2

Maita, L. (2025, 18 de marzo). *Sistema reproductor: funciones, anatomía y salud*. Discapnet. Recuperado de https://www.discapnet.es/salud/sistemas-del-cuerpo-humano/sistema-reproductor

Mandujano Rangel, A. (1983). *Anatomía y Fisiología del aparato reproductor masculino y femenino*. https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/4551

Mayo Clinic. (2024). *Menopause*. Mayo Foundation for Medical Education and Research. https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/menopause/symptoms-causes/syc-20353397

McLaughlin, J. E. (2023, Julio 17). Órganos genitales externos femeninos. Manual MSD Versión Para Público General. https://www.msdmanuals.com/es/hogar/salud-femenina/biolog%C3%ADa-del-aparato-reproductor-femenino/%C3%B3rganos-genitales-externos-femeninos

McLaughlin, J. E. (2024, June 11). *Órganos genitales internos femeninos*. Manual MSD Versión Para Público General. https://www.msdmanuals.com/es/hogar/salud-femenina/biolog%C3%ADa-del-aparato-reproductor-femenino/%C3%B3rganos-genitales-internos-femeninos?ruleredirectid=75

McLaughlin, J. E. (2025). Órganos genitales internos femeninos. En Manual MSD versión para público general. Recuperado de https://www.msdmanuals.com/es/hogar/salud-femenina/biolog%C3%ADa-del-aparato-reproductor-femenino/%C3%B3rganos-genitales-internos-femeninos

MedlinePlus. (2024). *Menopause*. U.S. National Library of Medicine https://medlineplus.gov/menopause.html

Melmed, S., et al. (2019). Williams Textbook of Endocrinology (14.ª ed.). Elsevier.

Pérez Larrea, E., Barranquero Gómez, M., & Salvador, Z. (18 de octubre de 2024). *Menopausia en la mujer: cuándo se produce y qué síntomas tiene*. Reproducción Asistida ORG. Recuperado de https://www.reproduccionasistida.org/menopausia/

Silverthorn, D. U. (2018). Human Physiology: An Integrated Approach (8.ª ed.). Pearson.

Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2018). *Principios de anatomía y fisiología* (15.ª ed.). Panamericana.

Vozmediano Chicharro, Raúl, & Bonilla Parrilla, Ramón. (2010). Recuerdo y actualización de las bases anatómicas del pene. Archivos Españoles de Urología (Ed. impresa), 63(8), 575-580. Recuperado en 09 de mayo de 2025, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06142010000800002&lng=es&tlng=es

Guía de anatomía y fisiología humana para bioquímicos farmacéuticos: Fundamentos y aplicaciones clínicas, se publicó en el mes de noviembre de 2026.

ISBN: 978-9907-802-74-0

Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
https://grupoblr.com/
publicaciones@grupoblr.com

BIOGRAFÍA DEAUTORES

Lidia Elizabeth Guzmán Heras:

Es Bioquímica Farmacéutica por la Universidad Técnica de Machala. Posee el título de Máster Universitario en Medicamentos, Salud y Sistema Sanitario por la Universidad de Barcelona, y actualmente cursa una maestría en Educación con mención en Investigación en Educación en la Universidad Técnica de Machala. Asimismo, cuenta con formación doctoral en Biología Molecular, Biomedicina.

Geovanny Efrén Ramón Japón:

Bioquímico Farmacéutico por la Universidad Técnica de Machala. Con título de Máster Universitario en Medicamentos, Salud y Sistema Sanitario por la Universidad de Barcelona, España. Actualmente cursa una maestría en Educación con mención en Inteligencia Artificial en la Universidad Técnica de Machala. Autor de artículos científicos.

GUÍA DE ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA HUMANA PARA BIOQUÍMICOS FARMACÉUTICOS: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES CLÍNICAS

Estimado lector, este libro fundamenta el estudio integrado de la anatomía y fisiología humana como un pilar formativo para la carrera de Bioquímica y Farmacia, articulando la estructura orgánica y el funcionamiento sistémico con los mecanismos moleculares, bioquímicos y farmacológicos de la salud y la enfermedad. Diseñada para fortalecer las competencias del perfil de egreso y responder a las exigencias curriculares de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud, la obra ofrece una propuesta rigurosa y contextualizada a la realidad hospitalaria y epidemiológica de Ecuador.

El contenido se organiza en unidades temáticas progresivas que examinan cada sistema corporal mediante explicaciones conceptuales, esquemas didácticos y correlaciones clínicas sustentadas en casos reales locales. Cada capítulo concluye con herramientas de afianzamiento pedagógico —resúmenes, preguntas de revisión y ejercicios aplicados— orientadas a superar la memorización mecánica en favor del razonamiento biomédico en escenarios de diagnóstico, análisis clínico y laboratorio.

Asimismo, la obra promueve un enfoque ético frente a la incorporación supervisada de tecnologías emergentes e inteligencia artificial como recursos didácticos de apoyo. En su conjunto, el texto constituye una guía académica accesible y actualizada que consolida una sólida formación científica, asistencial y humanista en los futuros bioquímicos farmacéuticos.

GRUPO BLR

Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
https://grupoblr.com/
publicaciones@grupoblr.com

ISBN: 978-9907-802-74-0

9 789907 802740

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
1969