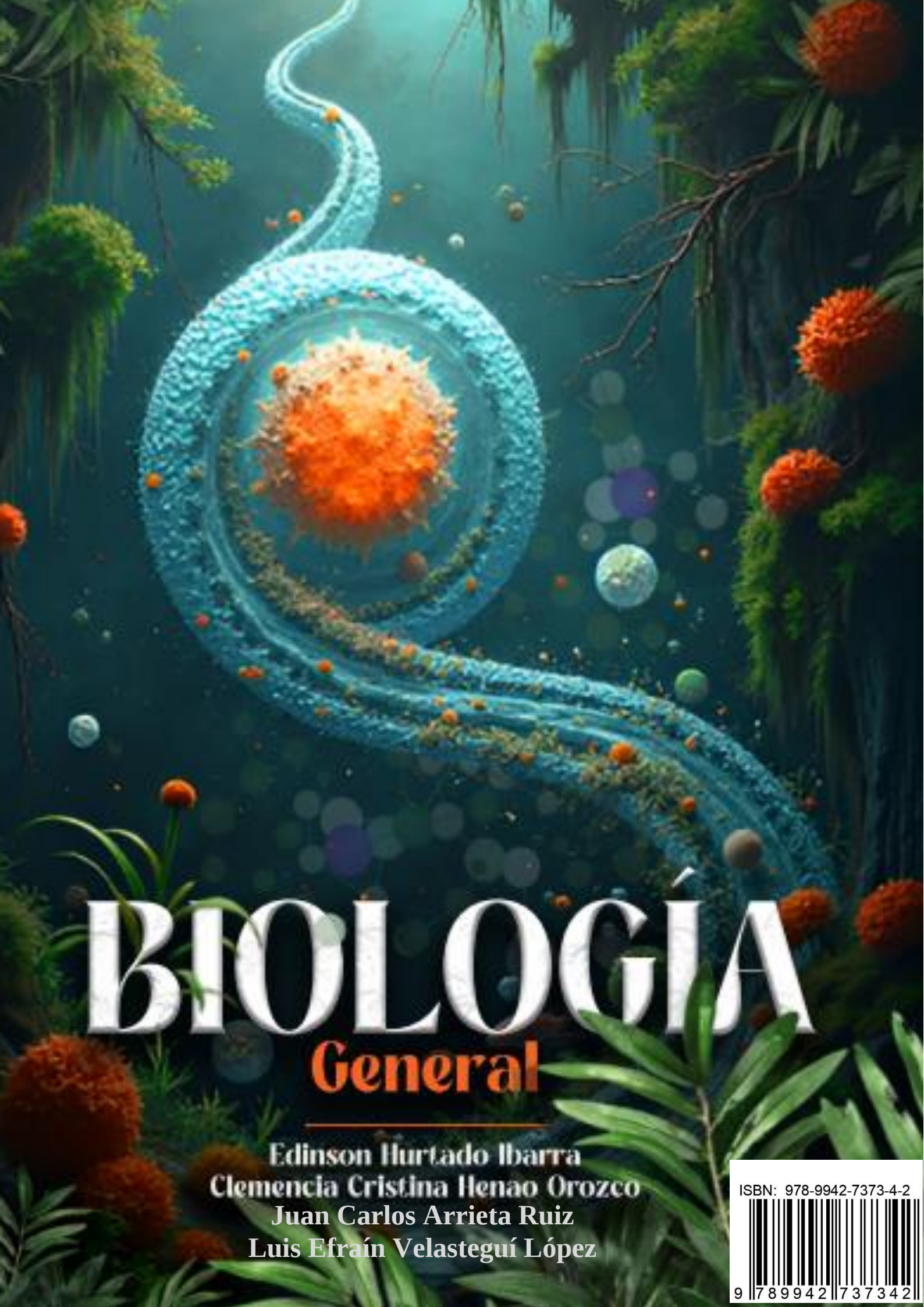




BIOLOGÍA

General

Edinson Hurtado Ibarra
Clemencia Cristina Henao Orozco
Juan Carlos Arrieta Ruiz
Luis Efraín Velasteguí López

ISBN: 978-9942-7373-4-2



9 789942 737342

El libro **BIOLOGIA GENERAL** está avalado por un sistema de evaluación por pares doble ciego, también conocido en inglés como sistemas “*double-blind paper review*” registrados en la base de datos de la **EDITORIAL CIENCIA DIGITAL** con registro en la Cámara Ecuatoriana del Libro No.663 para la revisión de libros, capítulos de libros o compilación.

Evaluadores:



Luis Alfredo Gomez Linares (Universidad del Atlántico)



Roger H. Valle Molinares (Universidad del Atlántico Barranquilla)

ISBN_978-9942-7373-4-2

Primera edición, marzo 2025

Edición con fines didácticos

Coeditado e impreso en Ambato - Ecuador

El libro que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Editorial Ciencia Digital**.

El libro queda en propiedad de la editorial y por tanto su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Editorial Ciencia Digital**.



Jardín Ambateño, Ambato, Ecuador

Teléfono: 0998235485 – 032-511262

Publicación:

w: www.cienciadigitaleditorial.com

w: <http://libros.cienciadigital.org/index.php/CienciaDigitalEditorial>

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

AUTORES

AUTORES



Edinson Hurtado Ibarra

(Docente, Universidad del Atlántico)



Clemencia Cristina Henao Orozco

(Docente de Catedra, Universidad del Atlántico)



Juan Carlos Arrieta Ruiz

(Universidad del Atlántico)



Luis Efraín Velasteguí López

(Universidad Técnica de Ambato)

**CIENCIA DIGITAL EDITORIAL**

La **Editorial Ciencia Digital**, creada por Dr.C. Efraín Velasteguí López PhD. en 2017, está inscrita en la Cámara Ecuatoriana del Libro con registro editorial No. 663.

El **objetivo** fundamental de la **Editorial Ciencia Digital** es un observatorio y lugar de intercambio de referencia en relación con la investigación, la didáctica y la práctica artística de la escritura. Reivindica a un tiempo los espacios tradicionales para el texto y la experimentación con los nuevos lenguajes, haciendo de puente entre las distintas sensibilidades y concepciones de la literatura.

El acceso libre y universal a la cultura es un valor que promueve Editorial Ciencia Digital a las nuevas tecnologías esta difusión tiene un alcance global. Muchas de nuestras actividades están enfocadas en este sentido, como la biblioteca digital, las publicaciones digitales, a la investigación y el desarrollo.

Desde su creación, la Editorial Ciencia Digital ha venido desarrollando una intensa actividad abarcando las siguientes áreas:

- Edición de libros y capítulos de libros
- Memoria de congresos científicos
- Red de Investigación

Editorial de las revistas indexadas en Latindex 2.0 y en diferentes bases de datos y repositorios: **Ciencia Digital** (ISSN 2602-8085), **Visionario Digital** (ISSN 2602-8506), **Explorador Digital** (ISSN 2661-6831), **Conciencia Digital** (ISSN 2600-5859), **Anatomía Digital** (ISSN 2697-3391) & **Alfa Publicaciones** (ISSN 2773-7330).



ISBN: 978-9942-7373-4-2



ISBN: 978-9942-7373-4-2 Versión Electrónica



Los aportes para la publicación de esta obra, está constituido por la experiencia de los investigadores

EDITORIAL REVISTA CIENCIA DIGITAL



Efraín Velasteguí López¹

Contacto: Ciencia Digital, Jardín Ambateño, Ambato- Ecuador

Teléfono: 0998235485 - 032511262

Publicación:

w: www.cienciadigitaleditorial.com

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

Editora Ejecutiva

Dr. Tatiana Carrasco R.

Director General

Dr.C. Efraín Velasteguí PhD.

¹ **Efraín Velasteguí López:** Magister en Tecnología de la Información y Multimedia Educativa, Magister en Docencia y Currículo para la Educación Superior, Doctor (**PhD**) en Ciencia Pedagógicas por la Universidad de Matanza Camilo Cien Fuegos Cuba, cuenta con más de 120 publicaciones en revista indexadas en Latindex y Scopus, 21 ponencias a nivel nacional e internacional, 16 libros con ISBN, en multimedia educativa registrada en la cámara ecuatoriano del libro, tres patente de la marca Ciencia Digital, Acreditación en la categorización de investigadores nacionales y extranjeros Registro REG-INV-18-02074, Director, editor de las revistas indexadas en Latindex Catalogo 2.0, Ciencia Digital, Visionario Digital, Explorador Digital, Conciencia Digital, Anatomía Digital, Alfa Publicaciones y editorial Ciencia Digital registro editorial No 663. Cámara Ecuatoriana del libro director de la Red de Investigación Ciencia Digital, emitido mediante Acuerdo Nro. SENESCYT-2018-040, con número de registro REG-RED-18-0063

**EJEMPLAR GRATUITO
PROHIBIDA SU VENTA**

El “copyright” y todos los derechos de propiedad intelectual y/o industrial sobre el contenido de esta edición son propiedad de CDE. No está permitida la reproducción total y/o parcial de esta obra, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, por fotocopia o por registro u otros medios, salvo cuando se realice con fines académicos o científicos y estrictamente no comerciales y gratuitos, debiendo citar en todo caso a la editorial.

Contenido

PRÓLOGO	21
INTRODUCCIÓN	24
UNIDAD I.....	27
Conceptos generales e Historia Celular.	27
Origen de la vida sobre la tierra	31
Teoría bioquímica del origen de la vida en la Tierra.....	32
¿Cómo surgió la vida en nuestro planeta?	32
La vida comenzó en el agua.....	32
Moléculas simples como precursoras de la vida	33
Características que hacen posible la vida en el planeta Tierra.....	34
Evolución de la vida en la Tierra.....	35
¿Qué es la biología celular o citología?	37
Historia del estudio de la célula.....	37
Claves para entender la historia del estudio de la célula.....	38
La primera vez que se utiliza la palabra célula.....	38
La evolución del estudio de la célula.....	39
Principios unificadores de la energía moderna.....	41
El Microscopio de Leeuwenhoek: Revolución en la Microbiología	43
Diseño y Funcionamiento del Microscopio de Leeuwenhoek	44
Descubrimientos Científicos y su Impacto.....	45
Contribuciones al Desarrollo de la Microbiología.....	45
Críticas y Limitaciones.....	46
Principios de la biología	47
Importancia de la biología	48
Clasificación de la vida	49
Disciplinas biológicas	50
Biología futura	50
Método científico	50
Células y microbios: los primeros descubrimientos.....	51
Las primeras observaciones.....	51
La teoría celular.....	53
Características de las células - células eucariontes y procariontes.....	54

Composición de las células	56
Composición aproximada de los componentes de una célula bacteriana	57
Las proteínas.....	58
Las proteínas son polímeros de aminoácidos.	59
Los ácidos nucleicos	60
El cultivo de células	62
El ADN y los genes.....	62
¿Cómo se interpretan las instrucciones?	68
Neuronas.....	75
Glóbulo blanco.....	75
El ADN como material genético.....	79
Los neumococos de griffith.....	79
La naturaleza del principio transformante.....	80
Los bacteriófagos de Hershey y Chase.....	81
El ADN no es tan aburrido como parece	82
La ingeniería genética	85
Diversidad celular.....	90
Tamaño celular.....	90
Número.....	91
Forma.....	91
Función.....	92
Diversidad celular	93
Componentes celulares.....	94
Membrana plasmática	94
Citoplasma.....	94
Material genético	95
Modelos de organización.....	95
Organización acelular:.....	95
Los virus	95
Célula procariota	95
Célula eucariota.....	96
La célula eucariota vegetal.....	98
El núcleo celular	99
Funciones celulares.....	100

Nutrición celular	100
Metabolismo celular	101
Reacciones catabólicas	101
Respiración celular	102
Fotosíntesis	102
Relación celular	102
Reproducción celular	103
BIOELEMENTOS Y BIOMOLÉCULAS	105
Carbohidratos	106
Estructura y Clasificación	107
Monosacáridos	107
Lípidos	108
Estructura y clasificación	109
Funciones biológicas	109
Proteínas	110
Estructura de las proteínas	110
Diferencias	111
Clasificación de las proteínas	112
Funciones de las proteínas	113
Ácidos Nucleicos	113
UNIDAD II.....	116
VIRUS Y BACTERIAS.....	116
Qué es un Virus.....	116
Origen de los Virus	117
La Viruela: Una de las Enfermedades Virales Más Devastadoras	117
Historia de los Virus: 2000 A.C. a 1959	118
2000 A.C.: Vacunación contra la Viruela en China	118
Siglo I D.C.: Celso y el Tratamiento Intuitivo de la Rabia	118
1892: Iwanowsky y el Descubrimiento del Virus del Mosaico del Tabaco	119
1898: Foffler y Frosch y el Virus de la Fiebre Aftosa	119
1901: Reed y Carroll y el Virus de la Fiebre Amarilla	119
1904: Borrel y el Virus de la Rabia	119

1915: Twort y el Descubrimiento de los Bacteriófagos	120
1917: D'Herelle y la Confirmación de los Bacteriófagos	120
1925: Parker y Nye y la Propagación de Virus en Cultivos Celulares	120
1931: Woodruff y Goodpasture y la Propagación de Virus en Huevos de Pollo.....	120
1933: Elford y la Medición del Tamaño de los Virus	120
1935: Stanley y la Cristalización del Virus del Mosaico del Tabaco	121
1941: Hirst y la Hemaglutinación	121
1949: Enders y el Cultivo del Virus de la Poliomielitis	121
1952: Dulbecco y Vogt y la Plaque Assay	121
1959: Luria y el Ciclo de Vida de los Virus	121
Teorías del Virus	123
Teoría del Virus: Una Visión General	123
Teoría Regresiva o Teoría de la Degeneración.....	123
Teoría del Origen Celular	124
Teoría de la Coevolución.....	125
Comparación de las Teorías	127
Estructura de un virus	129
Clasificación de los virus según la naturaleza de su genoma (ARN/ADN) .	130
Clasificación de los virus según su morfología	130
Clasificación de los virus según su composición química y modo de replicación	131
Clasificación de los virus según su nomenclatura	132
Clasificación de los virus según su taxonomía (ICTV - Baltimore)	133
Ciclo lítico	134
Ciclo lisogénico.....	136
Ébola	137
VIH	138
Fiebre de Lassa.....	139
Virus de Marburgo	140
Polio	141
Bacterias	143
Origen y evolución de las bacterias.....	144
Aparición de la fotosíntesis.....	147

Clasificación de las Bacterias	148
Respuestas al Oxígeno Gaseoso	149
Bacterias Anaeróbicas.....	149
Bacterias Aeróbicas.....	149
Formas de Obtener Energía	150
Autotróficas.....	150
Fotótrofas Autotróficas:.....	150
Heterotróficas	151
Litótrofas.....	151
Organótrofas.....	152
Coloración de Gram	152
Gram Positivas	152
Gram Negativas.....	152
Clasificación de las Células en Eucariotas y Procariotas	153
Características de las Células Eucariotas y Procariotas.....	154
Clases de Bacterias.....	155
Reproducción por Partición o por Esporulación	158
Reproducción por Partición	158
Reproducción por Esporulación	158
¿Dónde Encontramos las Bacterias?	159
Ambientes Naturales	159
Ambientes Extremos	159
Microbiota Humana	160
Bacterias Patógenas	160
Ántrax (<i>Bacillus anthracis</i>).....	160
Conjuntivitis (<i>Chlamydia trachomatis</i>)	161
Tétano (<i>Clostridium tetani</i>)	161
Diarrea (<i>Escherichia coli</i>)	162
Encefalitis (<i>Listeria monocytogenes</i>).....	162
Tuberculosis (<i>Mycobacterium tuberculosis</i>)	163
Lepra (<i>Mycobacterium leprae</i>).....	163
Meningitis (<i>Neisseria meningitidis</i>)	163
Sífilis (<i>Treponema pallidum</i>).....	164

Escarlatina (<i>Streptococcus pyogenes</i>)	164
¿En Qué Nos Benefician las Bacterias?	165
Biosíntesis de Vitaminas	165
Descomposición de Materia Orgánica.....	165
Ciclos Biogeoquímicos	166
Producción de Alimentos y Bebidas	166
Biorremediación.....	167
Fisión Binaria.....	167
Plásmidos.....	167
UNIDAD III.....	170
MEMBRANA CELULAR	170
Historia de la membrana celular	171
1665 - Robert Hooke	171
1869 - El biólogo suizo Friedrich Miescher	171
1935 - Danielli y Davson.....	172
1952 - Modelo de Dawson y Danielli	172
1972 - SJ Singer y Garth Nicolson	173
1988 - Peter Agre	173
Función de la membrana celular	173
Propiedades de la membrana celular	174
Composición de la membrana celular	175
Estabilidad de la bicapa lipídica	176
Fluidez de la membrana	176
De rotación	176
De difusión lateral	176
Flip-flop.....	177
De flexión.....	177
Tipos de proteínas de membranas	177
Integrales.....	178
Periféricas.....	178
Glúcidos.....	179
Función del glucocálix	179
Protección.....	179
Inmunidad a la infección	179

Defensa contra el cáncer	180
Compatibilidad de los trasplantes	180
Adherencia celular	180
Fertilización	180
Desarrollo embrionario	180
Permeabilidad de la membrana celular	181
Factores que afectan la permeabilidad de la membrana.....	181
Solubilidad de los lípidos	182
Tamaño	182
Carga de algunas proteínas	182
Canales	183
Transportadoras	183
Propiedades fisicoquímicas de la membrana	184
Fluidez de la membrana	184
Asimetría de la membrana.....	185
Permeabilidad selectiva.....	185
Capacidad de autoensamblaje	185
Potencial de membrana.....	186
Formación del potencial de membrana	186
Influencia del potencial de membrana en la permeabilidad	187
Potencial de acción	187
Papel del potencial de membrana en la homeostasis celular	187
1888 - G. Quincke	188
1902 - C. Overton	189
1925 - Gorter y Grendel.....	189
1935 - Davson y Danielli.....	190
1960 - Robertson.....	190
1964 - Lucy y Glubert	191
1965 - Kavanau	191
1972 - Singer y Nicolson.....	191
Transporte a Través de la Membrana	192
Mecanismos de Transporte a Través de la Membrana	192
Factores que Influyen en el Tipo de Transporte Utilizado	192

Transporte Pasivo	194
Transporte Activo	195
Transporte en Masa	196
Señales Eléctricas a Través de la Membrana Celular	198
Propiedades Eléctricas de las Células	198
Células Excitables	198
Células No Excitables.....	199
Canales Iónicos	199
Canales Iónicos Pasivos	199
Canales Iónicos Activos	200
Potencial en Reposo	200
Distribución Desigual de Iones	201
Permeabilidad Selectiva	201
Potencial de Acción	201
Fase de Reposo	201
Fase de Despolarización	201
Fase de Repolarización.....	202
Sinapsis.....	203
Tipos de Sinapsis	203
Sinapsis Eléctrica	203
Sinapsis Química.....	204
Sinapsis Química: Liberación del Neurotransmisor (NT)	205
Sinapsis Química: Unión del NT al Receptor.....	206
Canales Iónicos Operados por Ligando: Receptores Ionotrópicos.....	207
Receptores Acoplados a Proteínas G: Receptores Metabotrópicos.....	207
UNIDAD IV	210
SÍNTESIS ENERGÉTICA.....	210
El ATP (Adenosín Trifosfato)	212
Estructura del ATP	213
Transformación de la Energía	213
La Energía en los Heterótrofos y Autótrofos.....	214
Almacenamiento de la Energía.....	215
Unidad de Medida de la Energía	217
Cloroplastos y su Estructura.....	218

Tipos de Plastos	219
Estructura General de los Sistemas Fotosintéticos	222
La Fotosíntesis	223
La Fórmula $C_6H_{12}O_6$	223
Plantas C_3 , C_4 y CAM y sus Diferencias.....	223
Fotosistemas	224
Flujo Cíclico de Electrones	225
Plantas Fotosintéticas: Plantas C_3 , C_4 y CAM.....	226
Ciclo de Calvin	228
Mitocondria.....	229
Funciones Principales de la Mitocondria:	229
Estructura de la Mitocondria:	230
Ciclo del Glioxilato	231
Glucólisis	231
Fases de la Glucólisis.....	232
Cadena Terminal de Electrones	233
Procesos de la Cadena Terminal de Electrones.....	234
Ciclo de Krebs	235
La Acetil Coenzima A	236
La Reacción de Oxidación-Decarboxilación del Piruvato	236
Etapas del Ciclo de Krebs	236
UNIDAD V	241
SÍNTESIS DE MACROMOLÉCULAS.....	241
Síntesis de Macromoléculas.....	241
ADN y ARN: Nucleótidos	242
Nucleótidos: Grupo Fosfato, Azúcar (Pentosa), Base Nitrogenada.....	243
Grupo Fosfato.....	243
Azúcar (Pentosa): ADN (Desoxirribosa) y ARN (Ribosa)	243
Base Nitrogenada: Púricas (Adenina, Guanina) y Pirimidínicas (Timina, Citosina, Uracilo)	244
¿Qué es un Organelo?	246
Retículo Endoplasmático y su Estructura	246
Retículo Endoplasmático Rugoso.....	247

Retículo Endoplasmático Liso	248
Lisosomas	249
Ribosomas	250
Diferencias del Ribosoma en las Células Eucariotas y Procariotas	250
¿Qué son Proteínas?	251
¿Por Qué Son Constituyentes Químicos Fundamentales e Imprescindibles en la Materia Viva?	252
Funciones de las Proteínas	252
Función Estructural: Colágeno y Queratina	253
Función Reguladora: Insulina y H. Somatotropina	253
Función Transportadora: Hemoglobina	253
Función Defensiva: Anticuerpos	254
Función Enzimática: Sacarasa y Pepsina.....	254
Función Contráctil: Actina y Miosina.....	254
Síntesis de Proteínas	254
Etapas de la Síntesis de Proteínas.....	255
Transcripción	255
Traducción.....	256
Núcleo	259
Cromosomas	260
Estructura del Cromosoma	261
Clasificación del Cromosoma	262
Cariotipo	263
Alteraciones del Cariotipo.....	264
Ciclo Celular	265
Generalidades del Ciclo Celular	265
Crecimiento Celular	266
Replicación del ADN.....	266
Distribución de los Cromosomas Duplicados a las Células Hijas	266
División Celular.....	267
Fases del Ciclo Celular.....	267
División Celular.....	268
Interfase.....	269
Nucleosomas.....	272

Cromatina	273
Tipos de Cromatina: Eucromatina y Heterocromatina	274
Tipos de División Celular	276
Cariocinesis y Citocinesis	276
Pluripartición	277
Esporulación	278
Gemación	278
Mitosis	279
Procesos de la Mitosis	279
Tipos de Mitosis: Mitosis Cerrada y Mitosis Abierta	281
Fases de la mitosis	282
Citocinesis	287
La citocinesis en las Células animales y Células vegetales	287
Meiosis	289
Mecanismos de la meiosis (División I y División II)	289
Diferencias entre la mitosis y la meiosis	293
Gametogénesis	295
Gónadas	295
Células Germinales	295
Espermatogénesis	295
Ovogénesis	297
Fases de la Ovogénesis	297
Fecundación Humana	298
Cigoto	299
Etapas de la fecundación (Por semanas y días)	299
Primera semana (Días del 1 al 7)	300
Implantación o concepción	300
Segmentación de un óvulo fecundado	301
Fecundación en las trompas de Falopio en la región ampular o ampolla	301
Segunda Semana del Desarrollo Embrionario	302
Día 8: Implantación Completa	302
Trofoblasto: Citotrofoblasto y Sincitiotrofoblasto	302
Embrioblasto: Epiblasto y Hipoblasto	303

Día 9: Blastocito Inmerso.....	303
Coágulo de Fibrina	304
Sincitiotrofoblasto: Vacuolas y Fase Lacunar	304
Hipoblasto: Membrana Exocelómica o de Heuser y Origen de la Cavidad Celómica o Saco Vitelino Primitivo	304
Eventos del Desarrollo Embrionario durante la Segunda Semana (Días 11 al 13).....	305
Días 11-12: Regeneración del Epitelio Endometrial Sano	305
Sincitiotrofoblasto: Desarrollo de Lagunas, Penetración a Sinusoides Maternos y Circulación Uteroplacentaria	306
Saco Vitelino: Mesodermo Extraembrionario y Formación de la Cavidad Coriónica	306
Endometrio: Depósito de Glucógeno y Lípidos, Edema, Reacción Decidual	307
Día 13: Invasión del Citotrofoblasto en el Sincitiotrofoblasto	307
Hipoblasto: Migración y Formación del Saco Vitelino Secundario o Definitivo, Quistes Exocelómicos.....	307
Tercera Semana del Desarrollo Embrionario: Gastrulación y Formación de las Capas Germinales	308
Gastrulación: Establecimiento de las Tres Capas Germinales	309
Inicio con la Línea Primitiva: Nódulo y Fosita Primitiva	309
Ectodermo: Formación y Derivados	309
Endodermo: Formación y Derivados	310
Mesodermo: Formación y Derivados	311
UNIDAD VI	314
LA SANGRE	314
Fisiología de la Sangre: Transporte, Regulación y Protección	314
Composición de la Sangre: Fracción Líquida y Fracción Forme	315
Fracción Líquida: Plasma	315
Fracción Forme: Elementos Celulares de la Sangre	317
Hemoglobina	319
Plaquetas.....	323
Grupo Sanguíneo	325
Antígenos en los Grupos Sanguíneos:	326

Herencia del Tipo de Sangre	326
Factor Rh.....	328
Compatibilidad y Transfusiones.....	331
Determinación del Grupo Sanguíneo	331
Ley de la Transfusión de Sangre	332
Esquematización de los Grupos Sanguíneos y Posibilidades de Transfusión entre Ellos.....	334
La cicatrización.....	337
Fases de la Cicatrización.....	338
Fase Proliferativa.....	339
Fase de Remodelación.....	341
Inmunología.....	342
Sistema Inmunológico	343
Respuesta Inmunitaria: Inmunidad Innata e Inmunidad Adquirida	343
Inmunidad Innata.....	343
Inmunidad Adquirida.....	344
Componentes del Sistema Inmune.....	344
Proteínas	347
Antígeno	348
Anticuerpos.....	348
Enfermedades del Sistema Eritrocitario.....	350
Enfermedades del Sistema Leucocitario	350
Enfermedades de la Hemostasia.....	351
Vacunas.....	353
REFERENCIAS.....	357

PRÓLOGO

La biología, como ciencia de la vida, nos invita a un viaje fascinante a través de los más intrincados y maravillosos mecanismos que sostienen la existencia de todos los seres vivos. Este libro que tiene entre sus manos representa más que un conjunto de páginas impresas; es una ventana hacia la comprensión profunda de los procesos fundamentales que dan origen, mantienen y transforman la vida en todas sus expresiones. Desde los organismos más simples hasta los sistemas más complejos, la biología nos permite desentrañar los misterios que nos rodean y comprender nuestra propia existencia como parte de un sistema dinámico y extraordinariamente interconectado.

Cada unidad de este texto ha sido cuidadosamente diseñada para conducir al lector por un recorrido sistemático y progresivo que le permitirá construir un conocimiento sólido y coherente. No se trata simplemente de acumular información, sino de desarrollar una comprensión integral que trascienda la mera memorización de conceptos y fomente una verdadera alfabetización científica. La estructura del libro refleja una aproximación metodológica que va desde lo más básico y fundamental hasta los sistemas más complejos, permitiendo que cada nuevo concepto se construya sobre los cimientos de los conocimientos previamente adquiridos.

La primera unidad, dedicada a los conceptos generales e historia celular, establece las bases conceptuales fundamentales. Aquí, el lector encontrará las definiciones primordiales que le permitirán comprender la célula como la unidad básica de la vida. Se explorarán los orígenes del pensamiento científico en torno a la célula, su descubrimiento, y cómo nuestra comprensión de este elemento fundamental ha evolucionado a lo largo de la historia. No se trata solo de describir estructuras, sino de comprender cómo estas estructuras dan vida a los organismos y permiten su funcionamiento.

En la segunda unidad, nos sumergiremos en el fascinante mundo de los virus y bacterias, organismos que representan los límites de nuestra comprensión sobre lo que significa estar vivo. Estos microorganismos, a pesar de su diminuto tamaño, tienen un impacto descomunal en todos los ecosistemas del planeta. Comprenderemos sus características estructurales, sus mecanismos de

reproducción, su papel en los procesos ecológicos y su relación con los organismos más complejos, incluyendo su importancia tanto en procesos beneficiosos como en aquellos que pueden representar amenazas para la salud.

La membrana celular, tema central de la tercera unidad, será analizada no como una simple barrera pasiva, sino como un sistema dinámico y altamente complejo de comunicación e intercambio. Exploraremos su composición molecular, sus funciones selectivas, y cómo este delgado límite determina la interacción entre el mundo interior y exterior de cada célula. Comprenderemos que la membrana no es un elemento estático, sino un sistema activo que participa directamente en los procesos vitales.

La cuarta unidad nos introducirá en los procesos de síntesis energética, revelando los mecanismos mediante los cuales los organismos obtienen, transforman y utilizan la energía. Desde la fotosíntesis hasta la respiración celular, desentrañaremos los complejos procesos metabólicos que permiten la conversión de diferentes formas de energía y sostienen la vida en sus múltiples manifestaciones. El lector comprenderá que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma constantemente en un equilibrio dinámico y sorprendente.

En la quinta unidad, abordaremos la síntesis de macromoléculas, ese proceso fundamental mediante el cual las células construyen las estructuras que les permiten funcionar. Proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos serán explorados no como entidades aisladas, sino como componentes de sistemas interconectados que dan origen a la complejidad de la vida. Comprenderemos los mecanismos moleculares que permiten la construcción de estas estructuras y su papel en la herencia, la función y la adaptación de los organismos.

Finalmente, la sexta unidad se dedicará a la sangre, ese tejido líquido que representa uno de los sistemas más complejos y fascinantes de los organismos multicelulares. Más allá de su función de transporte, exploraremos la sangre como un sistema dinámico que involucra componentes celulares, proteínas, mecanismos de defensa, y procesos de regulación que mantienen el equilibrio de los organismos. La sangre será presentada no como un simple fluido, sino

como un ecosistema móvil que refleja el estado de salud y las interacciones más profundas de los sistemas biológicos.

Este libro está escrito para despertar el asombro ante la complejidad de la vida, para motivar la reflexión crítica y para desarrollar una comprensión que va más allá de lo puramente académico. La biología no es una ciencia estática, es un campo de exploración continua donde cada descubrimiento genera nuevas preguntas y abre horizontes de conocimiento.

Al recorrer estas unidades, el lector no solo adquirirá conocimientos técnicos, sino que desarrollará una perspectiva sistémica que le permitirá comprender la vida en toda su diversidad y complejidad. La biología nos enseña que todo está interconectado, que cada elemento, por pequeño que sea, juega un papel fundamental en el gran ecosistema de la existencia.

Que este libro sea para ti, querido lector, no un destino final, sino un punto de partida. Que cada página despierte tu curiosidad, estimule tu pensamiento crítico y te inspire a seguir explorando los maravillosos misterios de la vida.

Los autores...

INTRODUCCIÓN

La biología contemporánea se caracteriza por ser una disciplina experimental, aplicada y de amplio alcance. Aborda diversos aspectos de los seres vivos, desde su organización molecular, estructural y fisiológica, hasta su diversidad y relaciones con el medio ambiente en forma de sistemas ecológicos. También estudia la reproducción, transmisión hereditaria, origen y evolución de la vida en la Tierra, entre otros temas. Aunque cada uno de estos aspectos se ha especializado considerablemente, los objetivos fundamentales de la biología siguen siendo comprender la naturaleza de la vida, su origen, sus mecanismos y su futuro. Sin embargo, la predicción en esta área es complicada debido a la interacción entre la ciencia y la humanidad, lo que introduce consideraciones éticas que pueden influir en la dirección y aplicación de la investigación biológica.

El desarrollo de nuevas investigaciones en biología está marcando el inicio de una revolución equiparable, o incluso más significativa, que la que ocurrió en la física con las investigaciones nucleares. Esta revolución ofrece perspectivas extraordinarias y su impacto se refleja en la protección ambiental y el desarrollo sostenible, como se ha documentado a nivel internacional. A pesar de los avances en la transferencia de tecnologías ambientalmente adecuadas, todavía se priorizan las tecnologías de control de la contaminación sobre las prácticas de producción más limpias, lo que requiere cambios significativos en los patrones de producción y consumo.

El desarrollo económico y social sostenible está estrechamente ligado a la protección y uso racional de los recursos naturales, y aquí es donde la ciencia y la tecnología desempeñan un papel crucial. Sin embargo, también es importante el conocimiento del medio natural a través de la investigación. La biología contribuye a todas las ramas de las ciencias naturales, con especial énfasis en la zoología y la botánica, así como en áreas fundamentales como la biología molecular y la bioquímica, esenciales en la lucha contra enfermedades y el desarrollo de medicamentos.

La aplicación de la biología se extiende a la agricultura, donde la ingeniería genética permite crear cultivos más resistentes, productivos y sostenibles. Es crucial reconocer las interrelaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, y destacar el impacto de la ciencia y la tecnología en la vida cotidiana. La educación en ciencia y tecnología debe fomentar una comprensión profunda de las aplicaciones y consecuencias de estas disciplinas en la sociedad, con el objetivo de mejorar el bienestar y la calidad de vida de la sociedad en su conjunto.



UNIDAD I

Conceptos generales e Historia Celular.

UNIDAD I

CONCEPTOS GENERALES E HISTORIA CELULAR.

La historia de la biología es el relato y la investigación del desarrollo de esta rama científica, cuyo propósito fundamental es comprender los mecanismos y procesos inherentes a la vida, tal como la conocemos, como lo indica su etimología (del griego bios, "vida", y logos, "conocimiento" o "discurso").

El término "biología" surgió en el siglo XIX, cuando en 1802 tanto Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) de Francia como Gottfried Reinhold Treviranus (1776-1837) de Alemania publicaron trabajos por separado proponiendo su uso generalizado. Esto marcó el inicio de una disciplina científica autónoma, en consonancia con el espíritu ilustrado de la Europa de la época.

Sin embargo, el estudio de las leyes de la vida se remonta a los primeros filósofos naturalistas de la Antigüedad. Lo que hoy llamamos biología fue conocido durante siglos como filosofía natural o historia natural, y aquellos que se dedicaban a su estudio eran denominados "filósofos" o "naturalistas".

Es complicado establecer un punto de inicio en la historia de la biología, ya que el interés humano por comprender la vida y sus mecanismos ha existido desde tiempos remotos, especialmente desde la Revolución Neolítica, cuando la agricultura se convirtió en una parte fundamental de la vida cotidiana y se hizo necesario comprender mejor a los seres vivos.

Las civilizaciones antiguas comenzaron a estudiar la vida de manera integral, sin diferenciar entre anatomía humana, zoología, botánica, química o física.

Entre los estudiosos más destacados de la antigüedad se encuentran Súsruta (circa siglo III a.C.) en la India, un pionero de la medicina tradicional india, y Zhang Zhong Jin (150-209 d.C.) en China, ambos partes de una rica tradición cultural y filosófica que influía en su visión del mundo y de la vida.

En Occidente, figuras como los egipcios y los filósofos griegos pre-socráticos también realizaron contribuciones significativas al estudio de la vida, pero el más

notable fue Aristóteles de Estagira (384-322 a.C.), cuyas obras incluyeron la primera clasificación registrada de los organismos y la descripción de cientos de especies animales.

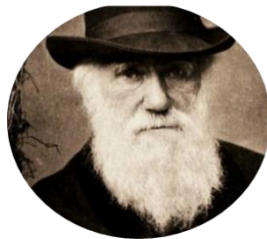
El modelo de pensamiento aristotélico perduró y fue ampliado por naturalistas y médicos posteriores, incluso más allá de la Edad Media. Durante la Edad de Oro del Islam (siglos VIII y IX d.C.), se realizaron notables contribuciones a la biología y la medicina por parte de figuras como Al-Jahiz, Al-Dinawari y Al-Biruni.

Aunque en la Alta Edad Media occidental hubo contribuciones a la biología en universidades europeas, como las de Hildegard von Bingen, Alberto Magno y Federico II de Hohenstaufen, el interés en la biología fue limitado en comparación con la física y la química.

Sin embargo, todo cambió con el Renacimiento y la Edad Moderna, cuando el renovado interés por las ciencias naturales, la fisiología y la medicina moderna impulsaron grandes avances. La invención del microscopio a finales del siglo XVI permitió el estudio detallado de las células por primera vez, como se documenta en "Micrographia" (1665) de Robert Hooke. Más tarde, Anton van Leeuwenhoek mejoró el microscopio, lo que permitió la observación de la vida microscópica y la descripción de bacterias y otros microorganismos.

Además, durante esta época se inició el desarrollo de la paleontología, con Nicolás Steno describiendo los primeros fósiles y sentando las bases para teorías posteriores sobre la evolución y la extinción.

La teoría de Darwin es el evento más importante en la historia moderna de la biología.



Fuente: Señal Colombia, 2024.

La biología emergió como una disciplina independiente hacia finales del siglo XVIII, tras importantes avances en la observación y disección de animales, y especialmente después de que el renombrado naturalista sueco Carlos Linneo

(1707-1778) propusiera su sistema de taxonomía para clasificar el mundo natural.

El enfoque de Linneo en la organización de los reinos de la vida reemplazó la visión previa de Aristóteles. Además, introdujo un sistema de nomenclatura de especies que todavía se utiliza hoy en día, basado en dos términos en latín: género y especie (por ejemplo, *Homo sapiens*).

A medida que avanzaba el siglo XIX, la fisiología pasó a ser conocida como medicina, mientras que la historia natural y la filosofía natural evolucionaron hacia disciplinas más especializadas como bacteriología, morfología y embriología.

La geología y la geografía también se separaron como campos de estudio independientes, en parte gracias a los viajes de investigación de naturalistas destacados como Alexander von Humboldt (1769-1859) y Aimé Bonpland (1773-1858), entre otros.

Otro hito importante fue el debate sobre el origen de la vida y la teoría evolutiva. La primera teoría de la evolución fue propuesta por el naturalista francés Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829), seguida por la influyente teoría de Charles Darwin (1809-1882) en su libro "El origen de las especies" de 1859, considerado un hito en la historia moderna de la biología.

Desde entonces, el conocimiento biológico ha crecido exponencialmente, impulsado en gran medida por la Revolución Industrial, que trajo nuevas invenciones y posibilidades. Contribuciones significativas al campo incluyen los descubrimientos de Gregor Mendel sobre las leyes de la herencia genética, los estudios de embriología y ecología de Ernst Haeckel, la investigación de Mathias Schleiden y Theodor Schwann sobre la célula como unidad fundamental, los cultivos de bacterias de Robert Koch, la refutación de la generación espontánea y la pasteurización de Louis Pasteur, la demostración de Thomas Morgan sobre los cromosomas como portadores de información genética, la teoría de Alexander Oparin sobre el origen de la vida, y el descubrimiento de la estructura del ADN por James Watson y Francis Crick en 1953, basado en el trabajo previo de Maurice Wilkins y Rosalind Franklin.

El siglo XX y XXI han sido testigos de continuos avances en biología, con contribuciones significativas en diversas áreas. La biología ha trascendido como un campo científico consolidado y en constante expansión hacia nuevos horizontes, como la exploración espacial y la búsqueda de vida fuera de nuestro planeta (exobiología) o la comprensión de cómo se originó la vida en la Tierra (paleobiología).

ORIGEN DE LA VIDA SOBRE LA TIERRA

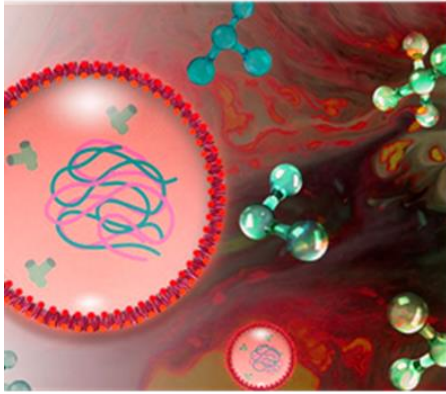
Los científicos utilizan el examen del registro fósil y el análisis de muestras de ADN y ARN para generar hipótesis que intentan abordar una de las interrogantes más antiguas que ha fascinado a la humanidad: ¿cuál es el origen de la vida en la Tierra? El análisis bioquímico del carbono presente en restos orgánicos dentro de las rocas indica que las formas de vida más primitivas podrían remontarse a unos 3.700 millones de años atrás. Sin embargo, ¿qué información tenemos acerca del proceso mediante el cual surgieron estas primeras formas de vida? Tras la formación de la Tierra, hace unos 4.500 millones de años, la composición química de la atmósfera sufrió grandes fluctuaciones, hasta que se estabilizó lo suficiente como para concebir los primeros indicios de vida.

En las primeras etapas de la vida, se cree que había un revoltijo de moléculas y sustancias químicas dentro de los cuerpos de agua; a menudo, se le denomina sopa molecular primordial o sopa prebiótica. Se considera que hace entre 4.500 y 3.700 millones de años, dentro del amasijo de la sopa primordial, hubo suficiente energía —quizá procedente de fuentes hidrotermales o rayos producido durante tormentas eléctricas— para provocar reacciones químicas espontáneas que permitieron la aparición de las primeras moléculas de ARN.

El tiempo siguió pasando, el ARN y las sustancias químicas de la sopa primordial se fueron haciendo más complejas, hasta que se envolvieron en una membrana y formaron las primeras células. Según los registros fósiles y geoquímicos, se cree que estas primeras células surgieron hace al menos 3.700 millones de años.

Desde ese punto, la vida experimentó un proceso de diversificación: las distintas formas de vida adquirieron la habilidad para realizar diversas reacciones químicas y procesos biológicos, lo que influyó en los entornos que podían colonizar. De esta manera, la vida evolucionó desde los primeros microorganismos hasta la amplia variedad de biodiversidad observable en nuestro planeta en la actualidad.

Teoría bioquímica del origen de la vida en la Tierra

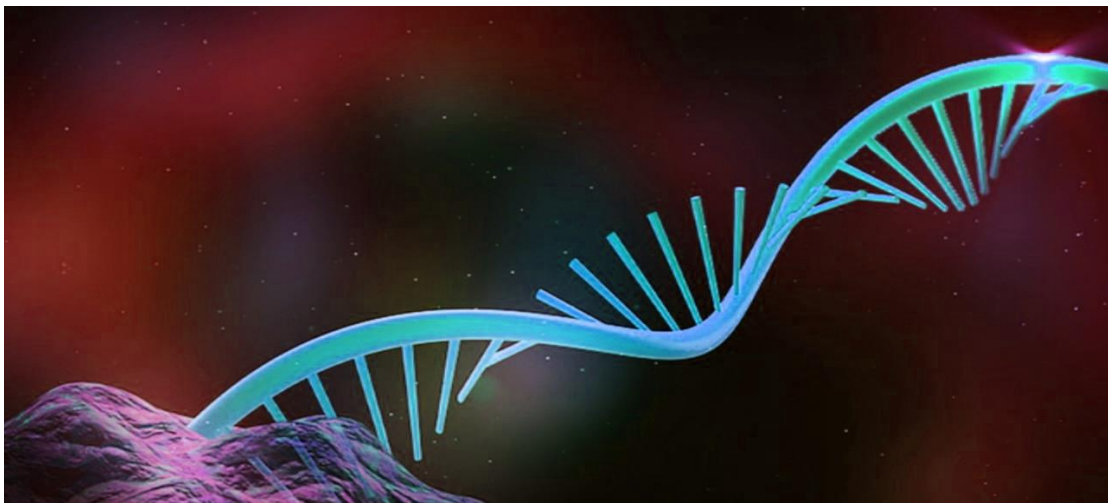


Fuente: Elaboración propia

Aunque existen muchas teorías de cómo se originó la vida, la mayoría de los científicos coinciden en que la materia no viva que existía en los inicios de la Tierra dio lugar a la materia viva. Esto se conoce como el origen químico de la vida, el cual sugiere que primero ocurrió una especie de evolución química, desde elementos y moléculas inorgánicas simples a moléculas cada vez más complejas. Este

proceso resultó en la aparición de moléculas orgánicas, o biomoléculas. Las biomoléculas son moléculas orgánicas complejas que contienen carbono (proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos) y que son imprescindibles en los sistemas vivos.

¿Cómo surgió la vida en nuestro planeta?



Fuente: Elaboración propia.

La vida comenzó en el agua

Se cree que la vida primitiva se originó en condiciones muy anaeróbicas (con muy poco oxígeno) y, por lo tanto, con poca o ninguna capa de ozono. En estas condiciones, los rayos UV habrían causado graves daños por radiación a todo lo que tocaran. Por ello, se cree que los orígenes de la vida en la Tierra se

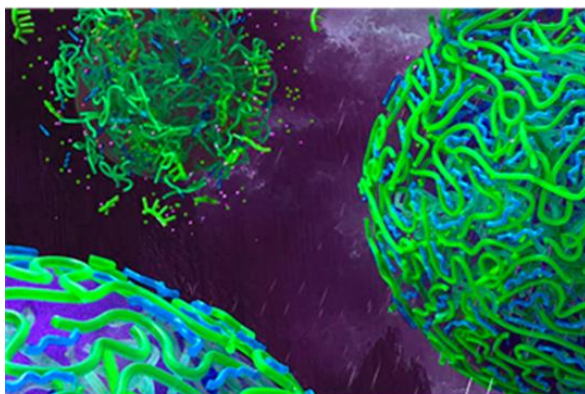
produjeron en los océanos o, al menos, un par de centímetros bajo el agua —lo que desviaría la mayor parte de los dañinos rayos UV emitidos por el sol—.

Moléculas simples como precursoras de la vida

La hipótesis Oparin-Haldanena —una de las primeras hipótesis que surgieron para explicar la evolución química— sugiere una transformación espontánea y escalonada de los átomos y las moléculas en las sustancias químicas más complejas que sustentaron la vida primitiva.

Los experimentos químicos realizados por Miller-Urey respaldaron en parte esta hipótesis, demostrando que las moléculas orgánicas pueden formarse espontáneamente en condiciones similares a la atmósfera anaeróbica primitiva de la Tierra, con un poco de energía. Esta energía podría haber sido proporcionada por la luz solar, los rayos o las fuentes hidrotermales.

Análisis geoquímicos más recientes han demostrado que las condiciones propuestas por la hipótesis de Oparin-Haldane probablemente no se corresponden con la atmósfera primigenia de la Tierra. Muchos científicos piensan ahora que la evolución química propuesta en la hipótesis es (al menos) correcta, aunque haya ocurrido en condiciones atmosféricas diferentes.



Fuente: Martínez, 2024.

Se postula que los nucleótidos de ARN surgieron de la sopa molecular resultante, considerándose como las primeras biomoléculas. Una característica crucial del ARN es su capacidad de autorreplicación, un rasgo distintivo de la vida y fundamental para la evolución. Con el transcurso de millones de años, se

estima que el ARN evolucionó hacia el ADN. Esta idea, conocida como la Hipótesis del Mundo del ARN, es la explicación más ampliamente aceptada por la comunidad científica sobre el origen de la vida. Se sugiere que la primera célula consistía simplemente en un conjunto de ARN autorreplicante envuelto en una membrana.

Características que hacen posible la vida en el planeta Tierra

Al considerar el origen de la vida en la Tierra, resulta beneficioso analizar las condiciones ambientales que podrían haber propiciado la existencia de la vida tal como la conocemos en la actualidad.

Algunas características necesarias para la vida actual son:

- Una atmósfera compuesta por alrededor del 21 % de oxígeno.
- Una temperatura global apta para la vida y, relativamente, estable (posible por la capa de ozono y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera).
- Un reciclaje de moléculas químicas imprescindibles para la vida, por medio de ciclos biogeoquímicos (carbono, nitrógeno, fósforo, agua, etc.).

La existencia de estas condiciones actuales nos provee pistas de algunos procesos que tuvieron que haber ocurrido para su aparición, a partir de las condiciones iniciales en el planeta. Evidencias de estos procesos se han obtenido gracias a distintos campos como la paleontología, la astronomía, la biología molecular, entre otros. Por ejemplo, uno de los grandes interrogantes es ¿cómo pasó la atmósfera de no tener casi nada de oxígeno libre a la composición actual?

Las primeras células estaban rodeadas de las moléculas orgánicas necesarias para obtener energía. Estas moléculas eran abundantes en el entorno y podían difundirse, simplemente, a través de la membrana de la célula. A medida que la vida evolucionó y se hizo más compleja, se necesitaron sistemas para que las células produjeran su propia energía, en lugar de obtenerla directamente de su entorno.

Se cree que esto ocurrió en tres etapas clave:

1. En las condiciones anaeróbicas primigenias, las primeras células necesitaban producir energía sin utilizar el oxígeno. En esta etapa se establecieron las vías iniciales de la glucólisis.

2. Posteriormente, las células desarrollaron la capacidad de realizar la fotosíntesis, lo que les permitió aprovechar la luz solar para obtener energía, sin necesidad de moléculas orgánicas externas. Se cree que la fotosíntesis evolucionó en las bacterias.
3. El desarrollo de la fotosíntesis aumentó la cantidad de O₂ disponible en la atmósfera. Esto dio lugar a la evolución del metabolismo oxidativo y de la respiración celular. Este proceso es mucho más eficiente en la conversión de moléculas orgánicas en ATP que la glucólisis por sí sola, pero requiere oxígeno.

Evolución de la vida en la Tierra

La evolución de la vida en la Tierra es un tema fascinante que plantea la pregunta de cómo la simple vida microbiana que surgió en los albores de la existencia dio paso a la increíble diversidad biológica que observamos en la actualidad. Aunque los detalles precisos sobre los orígenes de la vida son objeto de debate en la comunidad científica, existe un consenso general en torno a la idea de que todas las formas de vida comparten un ancestro común que se remonta a unos 3.500 millones de años atrás, conocido como LUCA (Último Ancestro Común Universal, por sus siglas en inglés).

Este LUCA, que probablemente era un microorganismo unicelular similar a los procariotas actuales, es la raíz de la diversidad de vida que conocemos hoy en día. Un indicio de esta conexión es que todas las especies en los tres dominios de la vida (Archaea, Bacteria y Eukarya) comparten 23 proteínas esenciales para la vida, aunque las secuencias de ADN que las codifican pueden variar ligeramente entre dominios. Estas proteínas son cruciales para numerosos procesos celulares fundamentales.

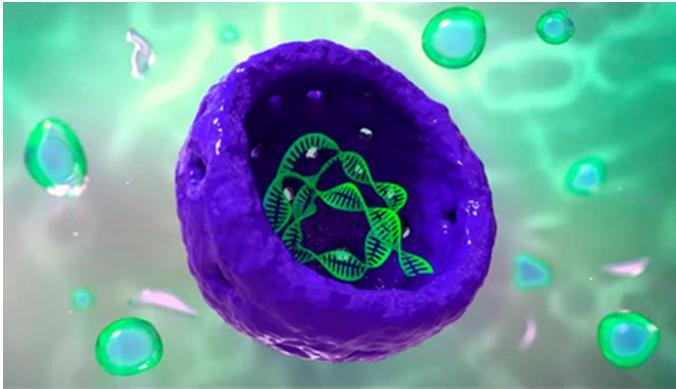
La teoría del ancestro común universal postula que las pequeñas variaciones entre estas proteínas pueden explicarse por un pequeño número de mutaciones. Si estas proteínas hubieran evolucionado independientemente, se requerirían muchas más mutaciones para explicar su similitud actual, y habría una mayor variación entre ellas.

A partir de LUCA, evolucionaron las células procariotas y, posteriormente, las células eucariotas, lo que llevó eventualmente al desarrollo de organismos pluricelulares. A medida que la vida se diversificaba, las diferentes formas de vida ocupaban nuevos nichos ecológicos y expandían sus hábitats. Este proceso permitió que la vida prosperara tanto en los océanos como en la tierra firme.

Los cambios significativos en el medio ambiente, el clima y la atmósfera terrestre fueron impulsados inicialmente por organismos procariotas fotosintéticos y, más tarde, por la evolución de las plantas.

¿QUÉ ES LA BIOLOGÍA CELULAR O CITOLOGÍA?

Una de las ramas fundamentales de la biología es la biología celular, anteriormente denominada citología. Su principal objetivo es describir la estructura de las células, así como los orgánulos que las componen, investigando su composición, funcionamiento e interacción con el entorno externo.



Fuente: Educaplay, 2024.

Dentro del ámbito de la biología celular, se investigan diversos aspectos que incluyen procesos como la mitosis y la meiosis, así como la descripción detallada de orgánulos celulares como el aparato de Golgi, la

membrana plasmática y la conocida bomba de sodio-potasio, además del citoesqueleto, mitocondrias, cloroplastos, ribosomas, retículo endoplasmático y otros componentes celulares.

Para llevar a cabo estas investigaciones, se utilizan diversas herramientas y técnicas como las técnicas histoquímicas, microscopía óptica y electrónica, así como la citoquímica, entre otras.

Historia del estudio de la célula

Hasta hace relativamente poco tiempo, unos 300 años, la ciencia no estaba basada en la observación, aunque, gracias a Aristóteles, se sabía que el hombre estaba formado por partes pequeñas que componían un todo, pero no se conocían debido a la falta de avances técnicos y al marco filosófico que imperaba en la época, con una influencia muy poderosa de la religión. Por esta etapa aparecen una serie de descubrimientos y cambios filosóficos que influyen decisivamente y son claves para entender la historia del estudio de la célula.

Claves para entender la historia del estudio de la célula

En el siglo XVII aparece la Citología e Histología como ciencia debido al cambio que empieza a producirse en el siglo XVI por el cambio de paradigma que supusieron las propuestas y grandes cambios de los grandes filósofos como Bacon, Descartes... La ciencia pasó de ser especulativa a basarse en la observación.

Además de este gran cambio de paradigma, si algo es clave para el estudio de la ciencia fueron los avances tecnológicos. El uso de lentes para aumentar el tamaño de las cosas fue la pieza fundamental para estudiar el tamaño micro y poder permitir la observación de las células.

No es posible hablar del estudio de la célula sin mencionar a Anton Van Leenwuenhoek que, si bien no fue el primero en observar la célula, sí fue el que consiguió utilizar las lentes de aumento correctamente, llegando a conseguir aumentos de hasta 250x lo que le convierte en el precursor de las observaciones citológicas. Realizó múltiples observaciones microscópicas basadas en la observación describiendo glóbulos rojos, espermatozoides... Aunque todavía no sabía cuáles eran los componentes básicos de la materia viva. Simplemente era una aproximación observacional.

La primera vez que se utiliza la palabra célula

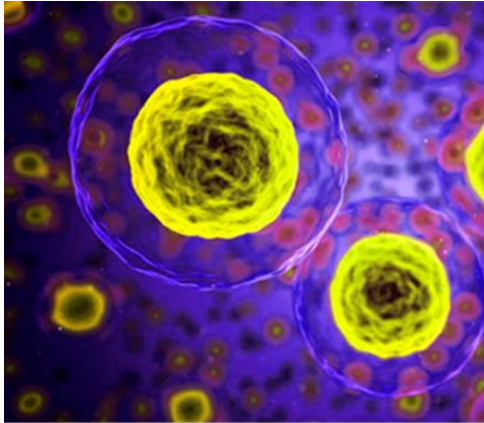


Fuente: BBC Mundo, 2017.

Fue Robert Hooke, miembro de la Royal Society (la primera asociación científica, de carácter muy selecto) quien presentó a Leewuenhoek a esta asociación donde fue aceptado. Gracias a las bases sentadas por éste, Hooke pudo mejorar los microscopios y realizar más observaciones.

El hito más importante aportado por Hooke al estudio de la célula es que él fue la primera persona en utilizar la palabra célula para describir lo que veía. La utilización de este término no fue casual. Hooke observaba las paredes de una célula de corcho que se parecían a las celdillas de un panal, y de ahí, eligió este nombre.

La evolución del estudio de la célula



Fuente: Comunidad Madrid, 2024.

En el siglo XVIII la ciencia no avanza apenas, pero será entrando el siglo XIX (1820) cuando la ciencia se expande y por tanto la historia del estudio de la célula da grandes pasos. El marco filosófico era el adecuado ya que la corriente filosófica de la época, el positivismo de Comte, y los grandes avances técnicos debido a la revolución industrial que permitió la mejora

de los microscopios.

Tomando como base a Hooke y a Leewuenhoek dos alemanes - independientemente- Matias Schleiden en los vegetales y Theodor Schwann en los animales se dan cuenta de que hay algo común, independiente e igual que da lugar a las estructuras que observaban (la célula). Es así como surge la TEORÍA CELULAR cuyo postulado es: las células constituyen las unidades estructurales y funcionales básicas que componen los seres vivos. Esto era la unificación de todo lo que se sabía acerca de las células. Aquí tienes un post muy completo sobre la teoría celular.

Por la misma época, un médico, Xavier M. Bichat introduce el concepto de tejido sin utilizar el microscopio. Seleccionaba alguna parte de un ser vivo y lo reducía al mínimo (hirviéndolo...). A ese mínimo lo llamó tejido, y lo definió como parte esencial que constituye el órgano y que posee propiedades homogéneas.

Posteriormente Rudolph Virchow tomó el concepto de tejido y lo unió a la teoría celular y debido a la mejora de los microscopios y las técnicas de tinción observó que Bichat estaba equivocado y que los tejidos estaban formados por células. Y, además, sugirió que toda célula proviene de otra célula cuando hasta entonces lo que predominaban eran las ideas preformacionistas.

Asociado con otros estudios, en esta época Gregor Mendel promulga sus leyes de la Genética, se mejoran los microscopios en 1850 y, además, también se desarrollan las técnicas de tinción.

En la actualidad, en pleno siglo XXI disfrutamos de grandes avances técnicos. Pero veamos cronológicamente los sucesos.

A principios del siglo XX se tenían microscopios ópticos y técnicas de tinción muy desarrolladas que propiciaron un gran desarrollo de la Citología. Personajes importantes de esta época son Hugo de Vries, Santiago Ramón y Cajal...

Hugo de Vries descubrió cómo las células transmiten sus caracteres a su descendencia, él cree que es el único, pero ya Mendel lo había propuesto en el siglo pasado, y entonces se dedica a unificar lo que él había descubierto con las leyes de Mendel dando lugar a la Citogenética.

Otro de los grandes hitos de la historia del estudio de la célula sucede con el cerebro. En el caso del cerebro pensaban que no había células sino una masa protoplásmica continua, debido a que estaba formado como una red, cosa que casaba con la religión que pensaba que el alma se encontraba en el cerebro. Pero con Santiago Ramón y Cajal se vio que el sistema nervioso estaba formado por un tejido de células. La demostración le valió el premio Nobel de Medicina de 1906. Así dijo que no había excepciones a la teoría celular.

A principios del siglo XX, Harrison-Carrel probaron a disociar células y vieron si podían crecer cada una por separado. Es la técnica de cultivos celulares que consiste en mantener una célula viva en cámaras especiales.

En los años 30 se inventó el microscopio electrónico por Luschka. Utilizó en lugar de luz natural, electrones. Los electrones proporcionan más definición pues la longitud de onda de la luz natural es de 0,4 micras y por tanto no podemos ver con luz natural, lo que sea menor de 0,4 micras. Con electrones la longitud de onda es de 0,1 nm. Pero dado que las muestras debían prepararse en el vacío, su aplicación se retrasó 20 años.

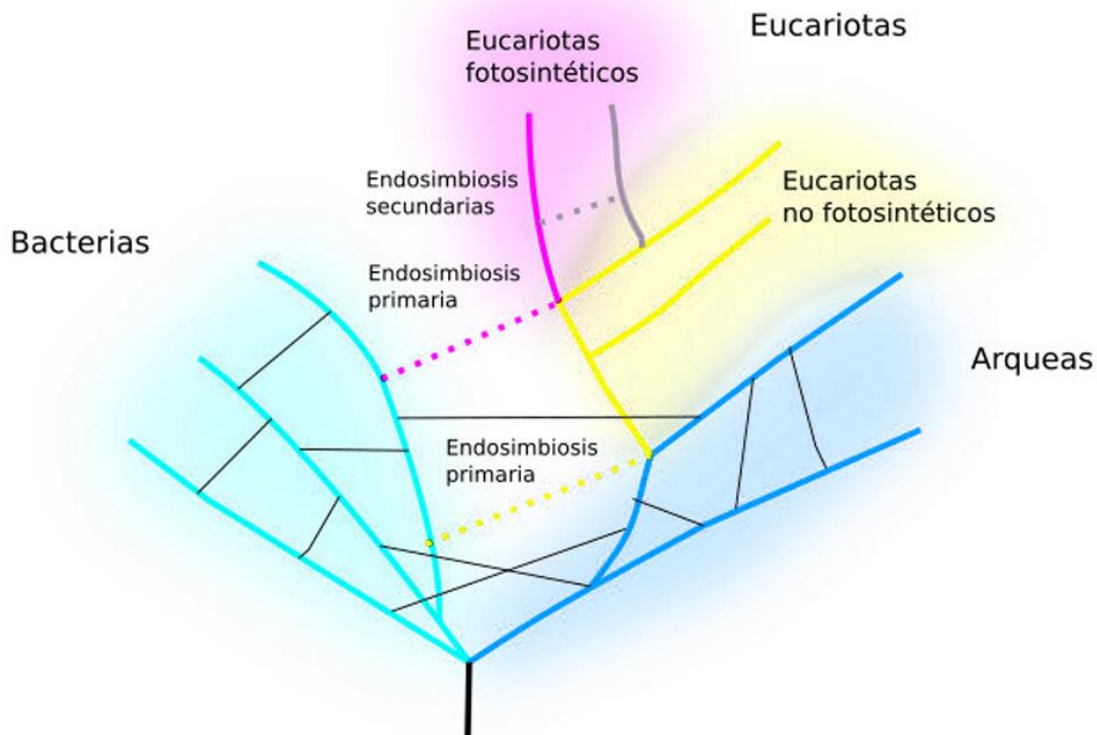
Después de la segunda guerra mundial se produjo un grandísimo desarrollo en el que por fin se usa el microscopio electrónico. Siendo uno de los grandes avances el descubrimiento a finales de los 50 de la doble hélice del DNA.

PRINCIPIOS UNIFICADORES DE LA ENERGÍA MODERNA

La biología moderna se ha ramificado considerablemente, lo que ha dado lugar a una amplia variedad de disciplinas dedicadas al estudio de diferentes tipos de organismos vivos, ecosistemas específicos o aspectos particulares de la biología.

Algunos ejemplos pueden ser:

- Zoología. Dedicada al estudio específico del reino animal.
- Botánica. Limita su estudio al reino de las plantas, algas y a cierto tipo de bacterias que realizan la fotosíntesis.
- Microbiología. Encargada del estudio de la vida microscópica.
- Parasitología. Interesada únicamente en los animales que sobreviven a costa de beneficiarse de los demás.
- Genética. Estudio de la vida desde la perspectiva de la transmisión de la información biológica y la herencia.
- Bioquímica. Se adentra en el funcionamiento químico y molecular de los cuerpos de los seres vivos y las sustancias que generan.
- Biología marina. Estudio específico de aquellas formas de vida halladas únicamente en el mar.
- Biotecnología. Estudio de las leyes de la vida con fines pragmáticos de aprovechamiento industrial o tecnológico.
- Virología. Rama dedicada por completo al estudio de los virus.



Fuente: Elaboración propia.

Árbol filogenético de la vida.

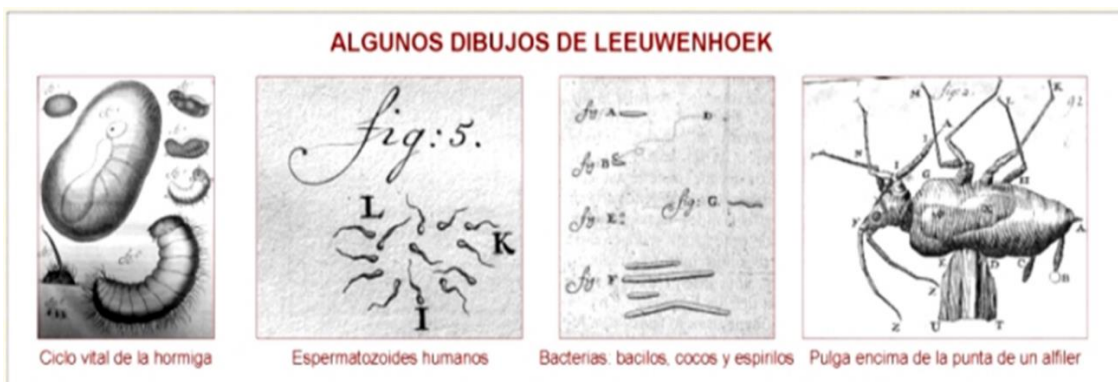
Esquema de un árbol de la vida donde se representan las transferencias laterales de información genética. Las ramas discontinuas indican transferencia de genomas completos indicados como endosimbiosis. Las líneas negras delgadas indican transferencias laterales de genes entre linajes diferentes. Estas transferencias laterales han sido y son frecuentes entre linajes.

La representación gráfica del árbol de la vida nos lleva a interpretar que las ramas son independientes entre sí. Es decir, en el tiempo que va desde que un nuevo linaje se genera tras una bifurcación hasta que se vuelve a bifurcar para producir dos nuevos linajes hijos, los organismos que forman parte de esa rama evolucionan de manera independiente, sin contaminación de otros linajes (ramas) que también están evolucionando al mismo tiempo y en el mismo espacio geográfico. Sin embargo, este aislamiento no es total. Hay dos ejemplos claros de interacción entre ramas laterales del árbol de la vida: la formación de la célula eucariota y la endosimbiosis de los cloroplastos.

Durante la formación de la célula eucariota se fusionaron dos ramas independientes: una población de arqueas y una población de bacterias. La fusión de ambas dio lugar a la rama de las células eucariotas, las arqueas formaron el núcleo y las bacterias las mitocondrias y también contribuyeron al núcleo con muchos de los genes. Más tarde en el tiempo, uno de los linajes de células eucariotas adquirió un grupo de organismos procariotas similares a las cianobacterias actuales para dar lugar a las células eucariotas fotosintéticas, lo que originó una nueva rama del árbol tras dicha fusión. En ambos casos son dos ramas que se fusionan para dar una nueva.

La comunicación entre ramas del árbol de la vida es mucho más frecuente de lo que se pensaba. Se sabe que muchos grupos de organismos que forman ramas laterales del árbol de la vida intercambian excepcionalmente algo de material genético. A estos intercambios se les llama transferencia horizontal de genes, y puede ir desde un fragmento pequeño de ADN, a porciones que incluyen grandes cantidades de genes. En el caso de mitocondrias y cloroplastos fue una transferencia del genoma completo.

EL MICROSCOPIO DE LEEUWENHOEK: REVOLUCIÓN EN LA MICROBIOLOGÍA



Fuente: Portal timetoast, 2024.

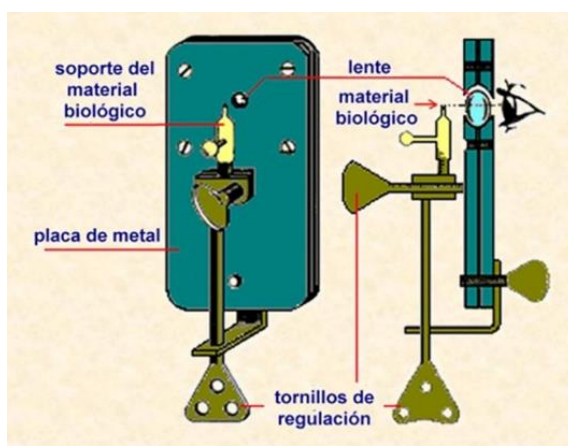
El desarrollo del microscopio marcó un punto de inflexión en la historia de la biología. Entre los pioneros de esta tecnología se encuentra Anton van Leeuwenhoek, quien a finales del siglo XVII revolucionó la percepción del mundo microscópico. A través de sus descubrimientos, se sentaron las bases para disciplinas como la microbiología y la citología. En este apartado se abordará el

impacto del microscopio de Leeuwenhoek en la ciencia, sus características técnicas, y cómo sus observaciones transformaron el entendimiento de los organismos vivos.

El microscopio fue concebido como una herramienta para ampliar la visión del mundo natural en una época dominada por el pensamiento aristotélico. Durante el siglo XVII, las primeras versiones de microscopios compuestos fueron creadas por científicos como Robert Hooke, quien popularizó el término "célula" tras observar estructuras vegetales (Hooke, 1665). Sin embargo, fue Anton van Leeuwenhoek quien llevó el instrumento a un nuevo nivel, desarrollando microscopios con capacidades superiores de aumento que permitieron la observación detallada de microorganismos.

Leeuwenhoek, un comerciante textil holandés sin formación científica formal, comenzó a experimentar con lentes para mejorar la calidad de sus inspecciones textiles. Esto lo llevó a fabricar lentes cada vez más potentes, culminando en la creación de microscopios simples capaces de alcanzar aumentos de hasta 300 veces, superando las capacidades de los microscopios compuestos de su época (Dobell, 1932).

Diseño y Funcionamiento del Microscopio de Leeuwenhoek



Fuente: Elaboración propia

El microscopio de Leeuwenhoek era notablemente simple pero extremadamente efectivo. Consistía en una sola lente biconvexa montada en una estructura de metal que incluía tornillos de ajuste para la distancia focal. Esta simplicidad estructural fue la clave para evitar los problemas de distorsión y aberración óptica que

afectaban a los microscopios compuestos contemporáneos (Ford, 2009).

El proceso de fabricación de las lentes era laborioso, ya que Leeuwenhoek pulía manualmente pequeños discos de vidrio hasta obtener una curvatura precisa. Estas lentes eran capaces de proporcionar una resolución que permitía observar

microorganismos invisibles al ojo humano, como bacterias, protozoos y espermatozoides. Este nivel de detalle era inalcanzable para otros microscopios de la época, lo que explica por qué las observaciones de Leeuwenhoek fueron consideradas asombrosas por la comunidad científica.

Descubrimientos Científicos y su Impacto

El microscopio de Leeuwenhoek permitió la visualización de un mundo biológico completamente desconocido. En 1674, Leeuwenhoek fue el primero en describir protozoos presentes en el agua de estanque, a los que denominó "animálculos" (Gest, 2004). En años posteriores, observó bacterias extraídas de la placa dental, describiendo su movimiento y morfología, lo que constituye la primera documentación científica de microorganismos unicelulares.

Su trabajo también incluyó la observación de glóbulos rojos, fibras musculares y estructuras reproductivas, lo que desmintió la creencia en la generación espontánea y fortaleció la idea de que la vida tenía una complejidad previamente subestimada. Estas observaciones fueron comunicadas a la Royal Society de Londres, la cual reconoció su importancia y las difundió ampliamente, legitimando el uso del microscopio como herramienta científica fundamental (Schierbeek, 1959).

Contribuciones al Desarrollo de la Microbiología

El impacto de las observaciones de Leeuwenhoek fue inmenso en el surgimiento de la microbiología como disciplina científica. Antes de sus descubrimientos, la existencia de microorganismos era desconocida, y las enfermedades se explicaban a través de teorías místicas o desequilibrios de los humores corporales. Las descripciones detalladas de microorganismos dieron origen a nuevas hipótesis sobre el origen de las enfermedades, sentando las bases para la teoría germinal de la enfermedad, desarrollada posteriormente por científicos como Louis Pasteur y Robert Koch en el siglo XIX (Porter, 1997).

Leeuwenhoek también fue pionero en documentar la diversidad microbiana, resaltando la existencia de distintos tipos de bacterias, lo cual influyó en la clasificación taxonómica inicial. Aunque no propuso un sistema formal de

clasificación, su trabajo impulsó la curiosidad científica y la necesidad de categorizar estos organismos.

Críticas y Limitaciones

A pesar de su éxito, el trabajo de Leeuwenhoek no estuvo exento de críticas. Algunos científicos contemporáneos dudaban de la precisión de sus observaciones debido a la falta de un método replicable para producir lentes de igual calidad. Además, su negativa a enseñar sus técnicas de fabricación de lentes generó escepticismo, lo que retrasó la aceptación generalizada de sus hallazgos (Dobell, 1932).

Otra limitación fue la ausencia de una metodología científica estandarizada en sus observaciones. Leeuwenhoek no realizó experimentos controlados ni utilizó mediciones cuantitativas, lo que dificultó la validación de sus resultados en ese momento. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, su capacidad para observar microorganismos marcó un precedente que guiaría el desarrollo de futuros avances científicos.

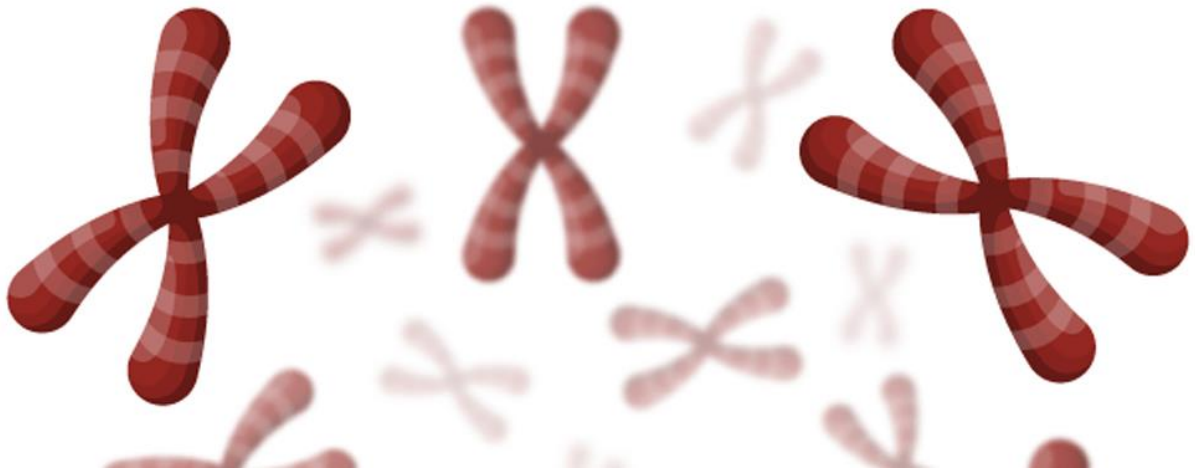
El legado de Anton van Leeuwenhoek trasciende el mero desarrollo técnico del microscopio. Su habilidad para revelar el mundo microscópico transformó la percepción de la naturaleza y abrió el camino a nuevas áreas de investigación en biología, medicina y química. Los avances en la tecnología de microscopía moderna, como el microscopio electrónico, se deben en gran medida al principio fundamental que Leeuwenhoek estableció: la importancia de observar lo invisible para comprender la vida.

Además, su enfoque empírico y la documentación minuciosa de sus descubrimientos fomentaron la transición hacia una biología basada en la observación directa, rompiendo con las interpretaciones especulativas predominantes. Este enfoque fue esencial para la revolución científica del siglo XVII, posicionando la observación y la experimentación como pilares fundamentales del conocimiento científico.

El microscopio de Leeuwenhoek representó una revolución en el entendimiento de los seres vivos. Sus descubrimientos no solo abrieron las puertas a la

microbiología, sino que también establecieron una nueva forma de investigar la naturaleza a través de la observación directa y detallada. A pesar de las limitaciones técnicas y metodológicas de su tiempo, el impacto de su trabajo perdura, y su legado continúa inspirando a científicos en todo el mundo. Gracias a su contribución, hoy podemos explorar el mundo microscópico con una profundidad inimaginable, transformando continuamente nuestra comprensión de la vida.

PRINCIPIOS DE LA BIOLOGÍA



Fuente: Douglas Wilkin | Jean Brainard.

La vida es un proceso constante de transformación que impulsa a las especies a adaptarse y evolucionar. La biología se fundamenta en los siguientes principios, los cuales nos permiten comprender científicamente el fenómeno vital:

- **Universalidad.** Todas las formas de vida conocida comparten ciertos preceptos comunes, como es estar conformadas por células, o requerir de información genética para legar a las futuras generaciones e incluso el impulso de nutrirse, crecer y reproducirse.
- **Evolución.** La vida es un proceso continuo de cambio que empuja a las especies a competir y a evolucionar, esto es, a adaptarse cada vez mejor al medio ambiente a través de cambios físicos y

bioquímicos heredados a las generaciones venideras para perpetuar la especie (o extinguirse).

- **Diversidad.** La vida en nuestro planeta es diversa y variopinta, por lo que existen numerosísimas especies animales, vegetales y de los diversos reinos en que la vida se clasifica.
- **Continuidad.** Se entiende la vida como un proceso continuo que involucra a los seres vivos del presente y a sus herederos directos por venir. Esto significa que la vida ha cambiado a lo largo de una cadena extensa en el tiempo, desde hace 3500 millones de años hasta hoy.
- **Homeostasis.** Se llama así al principio según el cual la vida se esfuerza siempre por adaptarse lo mejor posible a los cambios del entorno y del ambiente, manteniendo un equilibrio dinámico de temperatura, pH y presencia de elementos químicos.
- **Interacción.** La vida no puede ocurrir aislada, sino que siempre forma parte de un sistema mayor, en el cual se producen relaciones de competencia, solidaridad y depredación, lo cual hace a los sistemas bióticos (ecosistema) difíciles de estudiar.

Importancia de la biología

La biología aporta soluciones para mejorar la calidad de vida.

La biología como ciencia nos permite aproximarnos a la vida y sus complejos procesos con más conocimiento, ya sea para entender qué es exactamente la vida y saber buscarla en otros lugares (otros planetas, por ejemplo) o para poder cuidarla y protegerla de nuestros propios excesos.

Además, esta ciencia le aporta material teórico y práctico a numerosas otras disciplinas científicas, gracias a lo cual puede mejorarse nuestra calidad de vida, combatirse enfermedades, etc.

Clasificación de la vida

Las plantas hacen fotosíntesis y se proveen de alimento a partir de agua y luz solar.

Una de las tareas centrales de la biología parece ser la clasificación y descripción de los seres vivos, para lo cual existe un sistema de reinos (propuesto por Carlos Linneo en el siglo XVIII y reelaborado desde entonces varias veces) que distingue entre:

- Animales. Capaces de moverse a voluntad, respiran y requieren de ingesta de materia orgánica para subsistir. Se reproducen siempre sexualmente.
- Plantas. Capaces de hacer fotosíntesis y proveerse de alimento a partir de agua y luz solar, son inmóviles y se reproducen sexual y asexualmente.
- Hongos. Semejantes en estructura celular a las plantas, requieren descomponer materia orgánica para subsistir, son inmóviles y se reproducen mediante esporas.
- Protistas. Seres que no pueden clasificarse en los tres anteriores, pero que comparten con ellos su tipo de célula (eucariota, es decir, con núcleo). Los hay unicelulares y pluricelulares.
- Bacterias. Junto con las arqueas, forman el dominio de los procariotas, es decir, las células sin núcleo definido. Las bacterias son microscópicas, algunas patógenas (infecciosas) y otras fotosintéticas, y son la forma de vida más numerosa del planeta.
- Arqueas. Organismos unicelulares muy simples que constituyen a la vez un reino y un dominio (dependiendo de la clasificación) ya que poseen una historia evolutiva muy distinta a las bacterias, siendo más cercanas a los eucariotas en cuestiones de bioquímica y metabolismo.

Disciplinas biológicas

Una disciplina biológica estudia las estructuras simples de la vida como las células.

Dado lo amplio del tema de estudio de la biología, se la organiza en cuatro conjuntos de disciplinas, que son:

- El estudio de las estructuras simples de la vida: células, genes, etc.
- El estudio de las estructuras complejas de la vida: tejidos, órganos, cuerpos, etc.
- El estudio de los organismos y sus historias vitales: su desarrollo, crecimiento y procesos vitales.
- El estudio de la vida como un sistema de interacciones: ecosistemas, comunidades, etc.

Biología futura

Muchas preguntas se hacen hoy respecto al futuro de esta ciencia, que parece permitirnos cada vez un grado mayor de intromisión en la vida como tal.

Mientras que algunos apuntan a un ejercicio más responsable, sabio e informado de la biología, son muchas las teorías y representaciones de futuros distópicos en los que el hombre ha pagado el precio por manipular la genética y las leyes de la biología.

Método científico

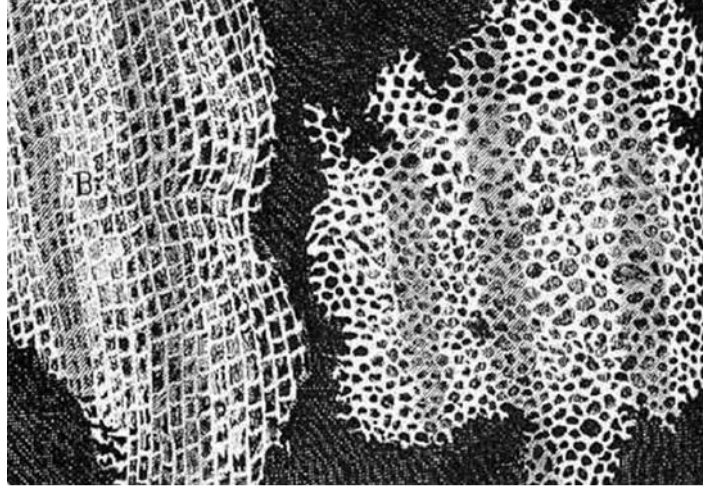
El método científico se basa en la observación para crear hipótesis.

Como se dijo al inicio, la biología emplea el método científico y sus principios de observación, medición, reproducción controlada en el laboratorio y formulación de hipótesis experimentales, para el estudio de las formas de vida. Aquello que no recurra a este método sistémico y comprobable, simplemente, no es biología.

CÉLULAS Y MICROBIOS: LOS PRIMEROS DESCUBRIMIENTOS

Las primeras observaciones

La gran mayoría de las células son microscópicas, es decir, hace falta un microscopio para poder observarlas. Sin embargo, hay otras, como los huevos de aves, que alcanzan varios centímetros de diámetros. El primero en observar células (y en llamarlas así) fue el

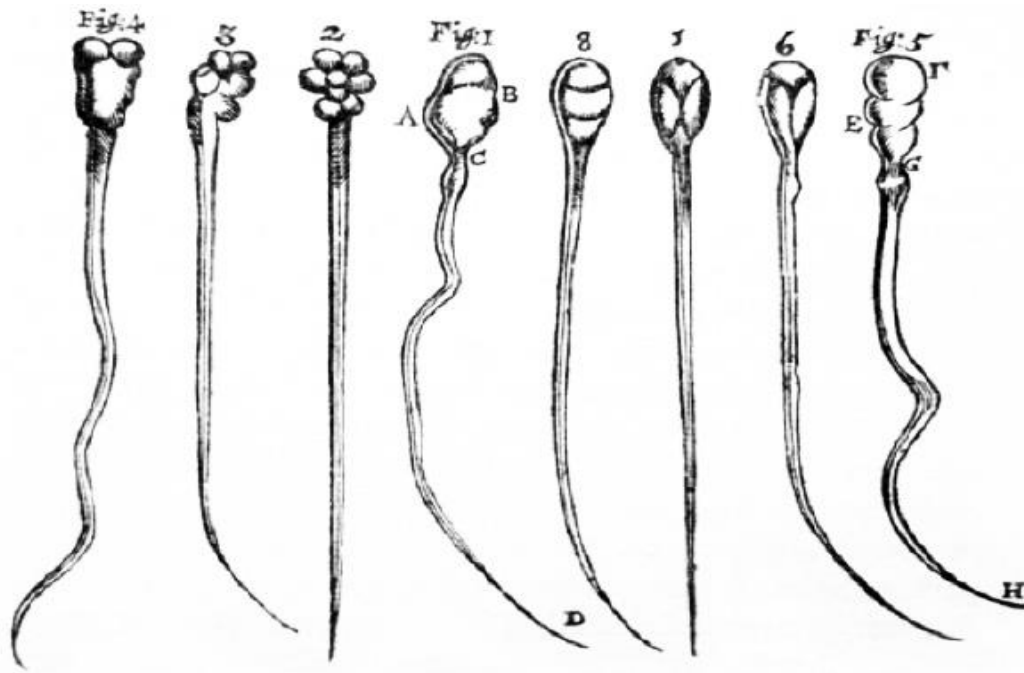


Fuente: Campos, 2015

científico inglés Robert Hooke, quien, en 1665 y usando un microscopio primitivo, describió y dibujó las células muertas de una lámina de corcho.

Pero el primero en observar células vivas fue el holandés Antony van Leeuwenhoek (1632-1723). Para sus observaciones construyó una serie de microscopios rudimentarios pero muy útiles para la época, que le permitieron describir no sólo bacterias, sino también protozoarios de vida libre y parásitos, espermatozoides, células de la sangre y algas.

Su trabajo, aunque meramente descriptivo, descubrió el fabuloso mundo microscópico que hasta ese entonces era totalmente desconocido. Hoy se definen como microorganismos o microbios a aquellos organismos vivos que por su tamaño no pueden verse si no es con la ayuda un microscopio.



Fuente: Campos, 2014.

Espermatozoide, tal como los observó Antony van Leeuwenhoek

La controversia sobre la generación espontánea

Pero, ¿cuál era el origen de los “animáculos” descritos por Antony van Leeuwenhoek? Luego de sus descubrimientos, la especulación sobre el origen de los microorganismos dividió a los científicos en dos grupos. Por un lado, estaban los que pensaban que los microorganismos provenían de la descomposición de las plantas o animales, es decir, eran el resultado y no la causa de la descomposición. Los que apoyaban esta teoría creían que la vida se generaba a partir de materia no viva, proceso que se denominó abiogénesis y que fue la base del concepto de la generación espontánea. Por otro lado, estaban los que apoyaban la teoría de la biogénesis, que creían que los microorganismos se originaban a partir de otros microorganismos, como ocurre con las plantas y los animales. Aunque hoy resulta obvio que no existe la generación espontánea, llevó más de cien años (¡y muchísimos experimentos!) resolver esta controversia. La idea de la generación espontánea se remonta a los antiguos griegos, quienes creían que los gusanos crecían del lodo. El italiano Francesco Redi demostró en 1668 que los gusanos encontrados en la carne podrida eran las larvas que provenían de los huevos que habían depositado en

la carne las moscas y no el producto de la generación espontánea. Pero en 1745 John Needham hirvió trozos de carne para destruir los organismos preexistentes y los colocó en un recipiente abierto. Al cabo de un tiempo observó colonias de microorganismos sobre la superficie y concluyó que se generaban espontáneamente a partir de la carne. En 1769, Lazzaro Spallanzani repitió el experimento, esta vez tapando los recipientes; no aparecieron colonias, lo que contradecía la teoría de la generación espontánea. Pero Needham argumentó que el aire era esencial para la vida y este aire había sido excluido en los experimentos de Spallanzani. Después de muchos experimentos, interpretaciones y discusiones, fue el químico francés Luís Pasteur quien en la década de 1860 terminó con la controversia. A partir de sus propios trabajos sobre la fermentación, a Pasteur le resultaba obvio que las levaduras y otros microorganismos encontrados durante la fermentación y la putrefacción provenían del exterior, del aire. Observando el fenómeno de fabricación del vino, demostró que la fuente de las levaduras era la propia piel de las uvas, que estaba en contacto con el aire. Si extraía estérilmente el jugo de las uvas, este jugo no fermentaba y no se encontraban levaduras. Por otro lado, si cubría con lienzos estériles las uvas desde la cosecha, tampoco crecían levaduras en estas uvas y no se producía el vino. Pero el experimento crucial fue el que realizó en 1864 utilizando frascos (matraces) con un tubo largo y curvado llamados "matraces cuello de cisne". El jugo de uva se colocaba en el frasco y luego de la esterilización el largo cuello del matraz se sellaba en la punta. Si se abría esa punta, el aire pasaba libremente a través del cuello, pero los microorganismos no aparecían en la solución ya que las partículas de polvo y microorganismos sedimentaban en el recodo del cuello. Pero si el jugo de uva tocaba el recodo contaminado, el crecimiento de los microorganismos era inmediato.

La teoría celular

Alrededor de 1833 el botánico escocés Robert Brown descubrió el núcleo celular. Estudiando bajo el microscopio a los tejidos vegetales de diferentes plantas vio que cada célula tenía una zona central más oscura, a la que llamó primero "areola" y luego "núcleo". Años más tarde, el alemán Matthias Schleiden descubrió que todas las plantas estaban compuestas por células, y, un año después, su compatriota Theodor Schwann arribó a la misma conclusión, pero

con los animales. Así, sentaron las bases de lo que luego sería la “Teoría Celular”, que dice que todos los organismos vivos están formados por una o más células. Esta teoría fue luego completada por Rudolph Virchow, quien concluyó en 1855 que toda célula proviene de una existente. Hoy la teoría celular se basa en los siguientes postulados:

- Todos los seres vivos están formados por células
- Todas las células derivan de otra preexistente
- Todas las funciones vitales de los organismos ocurren dentro de las células

Las células contienen la información necesaria para realizar sus propias funciones y las funciones de las próximas generaciones de células.

Características de las células - células eucariontes y procariontes

Hay organismos formados por una única célula (unicelulares), como las bacterias, las levaduras y las amebas. Hay otros más complejos, formados por muchas células (pluricelulares), como las plantas y animales, por ejemplo. En estos organismos, las células se ordenan en tejidos, los que su vez forman los órganos. Aunque pueden tener formas, tamaños y funciones diferentes, todas las células comparten características muy importantes:

Están rodeadas de una membrana celular o plasmática que las separa del exterior, pero a la vez permite el intercambio con el medio externo. Algunas células, como las bacterias y las células de hongos y plantas, presentan una pared celular por fuera de la membrana plasmática.

La membrana plasmática rodea al citoplasma, una solución acuosa viscosa donde están inmersas las organelas y donde ocurren importantes procesos metabólicos.

El material genético o hereditario de todas las células es el ADN, o ácido desoxirribonucleico.

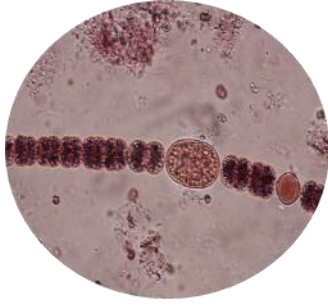
Metabolismo: Las células se alimentan por sí mismas, toman los nutrientes del medio, los transforman en otras moléculas, producen energía y excretan los desechos de estos procesos.

Reproducción: las células se originan por división de otras células.

Diferenciación: durante el desarrollo de los organismos pluricelulares muchas células pueden cambiar de forma y función, diferenciándose del resto. La diferenciación celular hace que una célula comience a fabricar algo que antes no fabricaba y esto está asociado a una función particular. Una neurona, por ejemplo, es una célula especializada en la transmisión del impulso nervioso.

Señalización química. Las células responden a estímulos químicos y físicos y suelen interactuar y comunicarse entre sí, como ocurre en los organismos pluricelulares complejos a través de las hormonas, los neurotransmisores y los factores de crecimiento.

Si bien todas las células comparten las características mencionadas más arriba, presentan una serie de diferencias que permiten agruparlas en dos grandes categorías: procariontes y eucariontes. Las células procariontes no tienen núcleo ni organelas (estructuras celulares rodeadas de membrana, como las mitocondrias, los cloroplastos, los lisosomas, etc.) y su organización interna es simple. Su material genético se encuentra formando un único cromosoma circular. Las células procariontes son pequeñas, de 0,1 a 3 micrones (un micrón es la milésima parte de un milímetro) y forman parte de organismos unicelulares que viven solitarios o en colonias. A estos seres se los llaman organismos procariontes, y son las bacterias y las cianobacterias (algas verdeazules). Se reproducen por un mecanismo simple, conocido como fisión binaria, en el que el material genético se duplica y luego la célula se divide en dos células hijas iguales.



Bacterias *Escherichia coli*

Cianobacteria *Anabaena sphaerica*

Fuente: Mejor con salud, 2024.

Las células eucariontes, en cambio, tienen núcleo y organelas, y su organización interna es más compleja. Son más grandes que las procariontes, tienen entre 2 y 100 micrones. Su material genético se encuentra distribuido en varios cromosomas lineales. Se dividen por un mecanismo especial y coordinado llamado mitosis, que asegura la correcta distribución del material genético entre las células hijas y el mantenimiento del número de cromosomas de la especie. Las células eucariontes forman parte de organismos unicelulares o pluricelulares. Estos seres son los hongos, protozoarios, plantas y animales.

Composición de las células

El agua, los iones inorgánicos y las moléculas orgánicas pequeñas constituyen aproximadamente el 75-85% del peso de la materia viva. De todas estas moléculas, el agua es de lejos la más abundante. El resto está compuesto por moléculas más grandes, denominadas “macromoléculas”, que son las proteínas, polisacáridos, lípidos y ácidos nucleicos.

COMPONENTE	% DEL PESO TOTAL DE LA CÉLULA
Agua	70
Iones inorgánicos	1

Azúcares	1
Aminoácidos	0,5
Nucleótidos	0,5
Ácidos grasos	1
Macromoléculas (proteínas, ácidos nucleicos, lípidos y polisacáridos)	26

Fuente: Elaboración propia.

Composición aproximada de los componentes de una célula bacteriana

Las células contienen cuatro tipos principales de moléculas orgánicas pequeñas: azúcares, ácidos grasos, nucleótidos y aminoácidos. Se las puede encontrar libres en el citoplasma o dentro de alguna organela, vesícula o membrana, donde participan de diferentes procesos. Algunas pueden ser transformadas en moléculas más pequeñas aún, con el fin de que la célula obtenga la energía necesaria para sus funciones. Además, la mayor parte de estas moléculas pequeñas son usadas como “ladrillos” (monómeros) para construir enormes macromoléculas (polímeros): las proteínas, ácidos nucleicos, lípidos y polisacáridos.



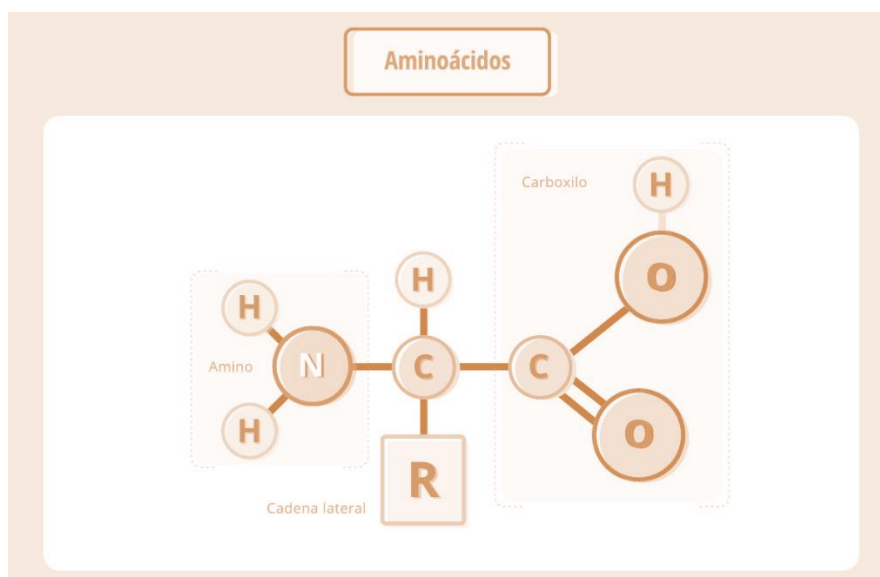
Fuente: Elaboración propia.

Las macromoléculas, y en particular las proteínas y los ácidos nucleicos, son los componentes más interesantes y característicos de los sistemas vivos.

Las proteínas

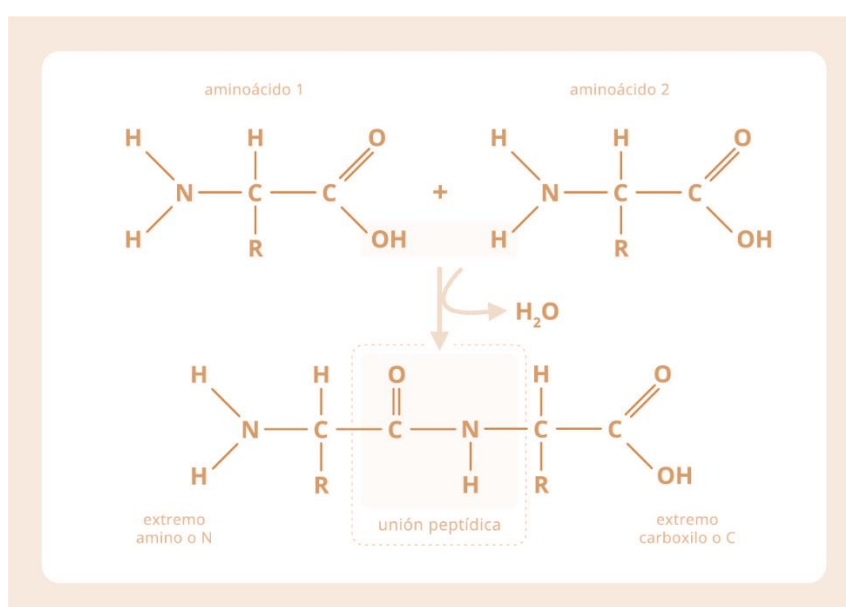
Las proteínas son las verdaderas obreras de la célula, y también las macromoléculas más abundantes y diversas en estructura y función. Un hepatocito (célula del hígado) tiene unas 10.000 proteínas diferentes, ¡y cada una se encuentra repetida aproximadamente un millón de veces! Hay proteínas estructurales, como las que le dan forma a la célula, otras transportan oxígeno, como la hemoglobina, otras participan en la respuesta inmune contra los agentes patógenos, como los anticuerpos. Pero muchas son enzimas, proteínas que tienen la capacidad de acelerar (catalizar) reacciones químicas que no podrían ocurrir espontáneamente en la célula. Sin las enzimas, los procesos celulares como la reproducción, conversión de alimento en energía, construcción de macromoléculas, excreción de desechos celulares, entre otros, no serían posibles.

Las proteínas son polímeros de aminoácidos.



Fuente: khanacademy, 2024.

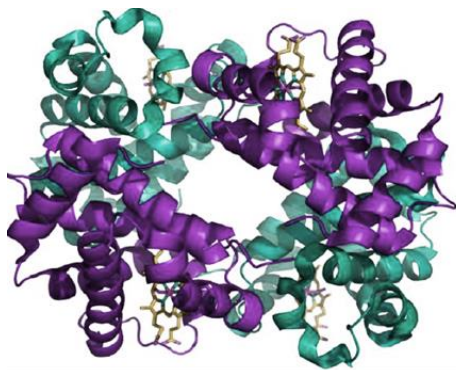
Hay 20 aminoácidos diferentes, pero todos ellos tienen una fórmula básica común, constituida por un carbono central al que se le unen un grupo químico carboxilo, uno amino y otro grupo químico que es particular para cada aminoácido y que se conoce como “cadena lateral o R”. Para formar una proteína, los aminoácidos se unen uno tras otro a través de una unión covalente particular, denominada “unión peptídica”, que involucra al grupo carboxilo de un aminoácido y al amino del siguiente.



Fuente: khanacademy, 2024.

La sucesión particular de aminoácidos en una proteína determina su “estructura primaria”, donde los aminoácidos se encuentran como cuentas en un collar. Pero las características de los grupos laterales de los aminoácidos hacen que éstos, aunque se encuentren alejados en el collar, puedan acercarse en el espacio. Así, la proteína adopta una conformación tridimensional (estructuras secundaria y terciaria) que es propia de cada proteína, ya que este plegamiento depende de la secuencia de aminoácidos, y cada proteína tiene una secuencia particular. Finalmente, varias cadenas proteicas plegadas pueden unirse entre sí por uniones no covalentes, constituyendo la estructura cuaternaria, como en el caso de la hemoglobina, que está formada por cuatro subunidades iguales.

Estructura de la hemoglobina. Las subunidades proteicas se muestran en violeta y verde, y los grupos hemo, que contienen hierro, en amarillo. Fuente: Protein Data Base 1GZX

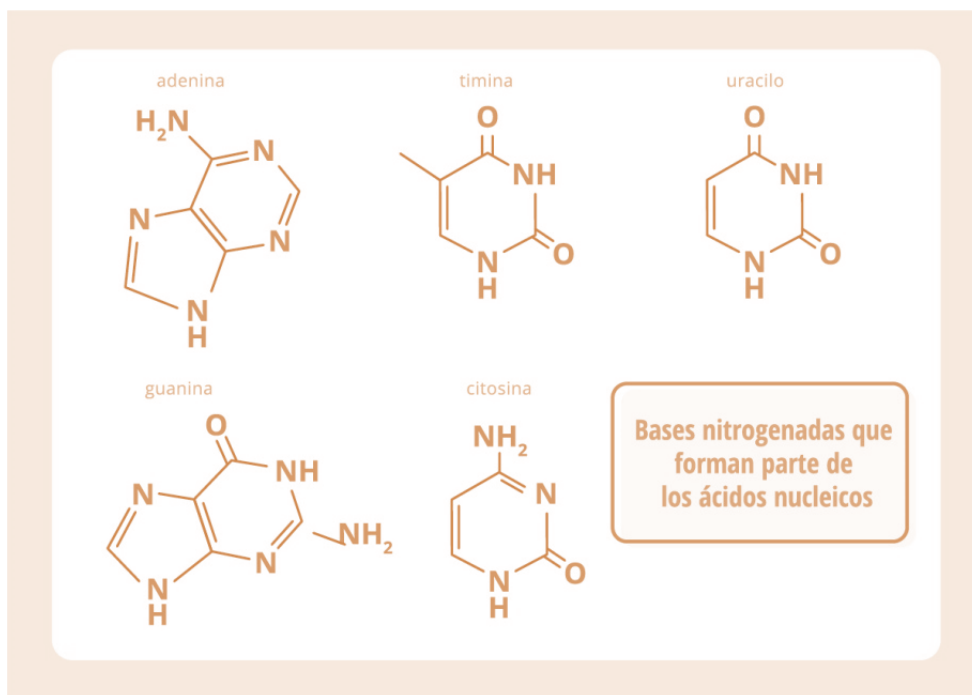


Fuente: ArgenBio, 2024.

Hay proteínas muy cortas (en realidad se denominan péptidos), de unos pocos aminoácidos, y otras verdaderamente gigantes, como ciertas proteínas musculares, que llegan a tener hasta 100.000 aminoácidos.

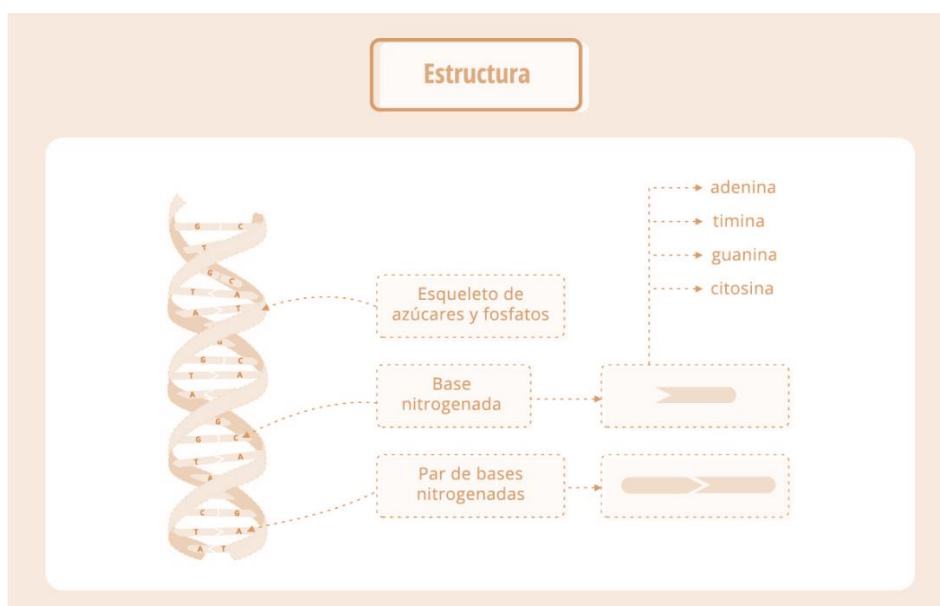
Los ácidos nucleicos

Así como las proteínas están compuestas por aminoácidos, los ácidos nucleicos son polímeros de nucleótidos. Cada nucleótido está compuesto por una base nitrogenada, un fosfato y un azúcar. Hay dos tipos de ácidos nucleicos: el que tiene nucleótidos formados por el azúcar ribosa, es el ARN (ácido ribonucleico), y contiene las bases nitrogenadas A (adenina), G (guanina), C (citosina) y U (uracilo).



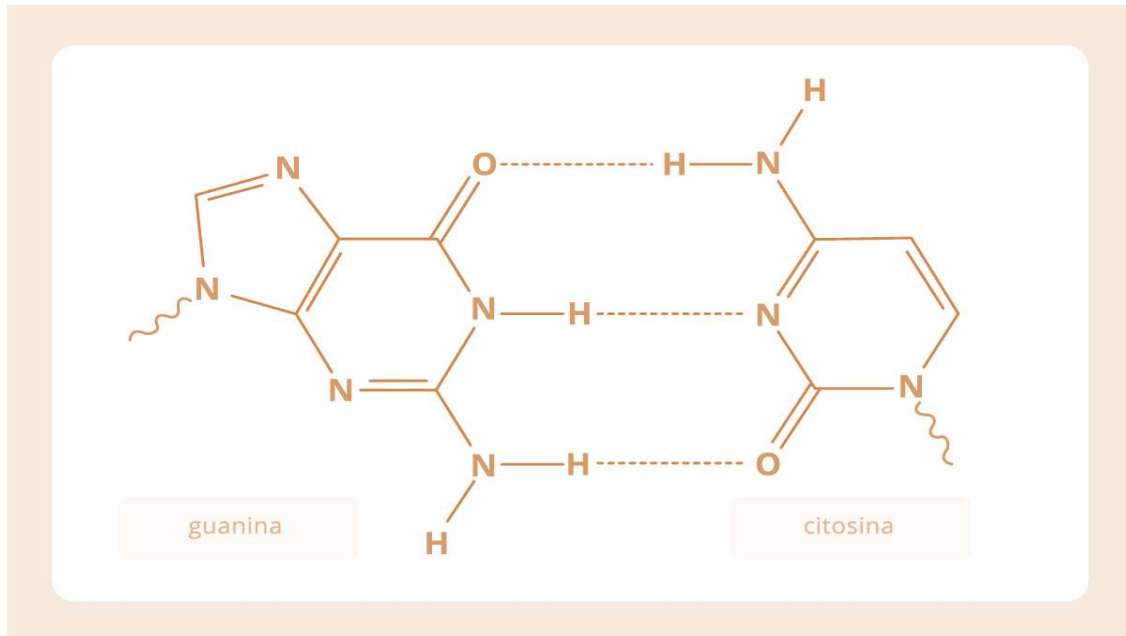
Fuente: khanacademy, 2024.

En cambio, el que tiene nucleótidos formados por el azúcar desoxirribosa es el ADN (ácido desoxirribonucleico) y contiene las bases nitrogenadas A (adenina), G (guanina), C (citosina) y T (timina, que es parecida a la U). Mientras que el ARN se encuentra en las células como una cadena polinucleotídica única, el ADN está formado por dos cadenas que se entrelazan formando una doble hélice.



Fuente: khanacademy, 2024.

Podemos imaginar al ADN como una escalera que gira sobre sí misma y donde los lados son cadenas de azúcares y fosfatos, conectadas por “escalones”, que son las bases nitrogenadas. En la doble hélice, siempre una A se enfrenta a una T y una C se enfrenta a una G. Estas bases se unen entre sí a través de uniones no covalentes, conocidas como “puente de hidrógeno”.



Fuente: khanacademy, 2024.

El cultivo de células

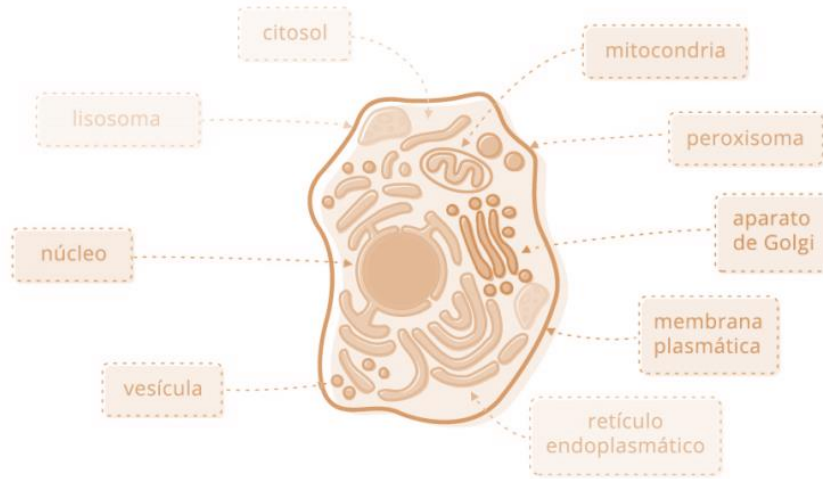
Un cultivo celular es un proceso por el cual se mantienen y multiplican células procariontes o eucariontes, bajo condiciones controladas. De una manera más estricta, el término hace referencia al cultivo de células que derivan de organismos pluricelulares, como plantas y animales.

El ADN y los genes

¿Dónde están las instrucciones?

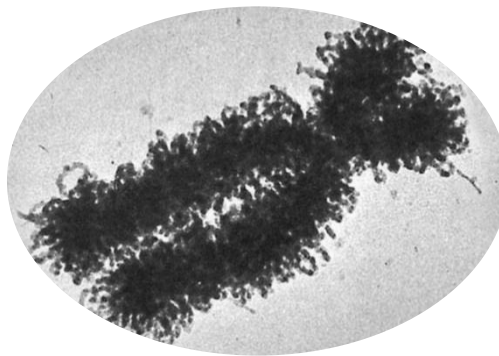
Las instrucciones que determinan todas las características y funciones celulares se encuentran en su material genético: el ADN.

Esquema de una célula animal, mostrando las diferentes organelas



Fuente: khanacademy, 2024.

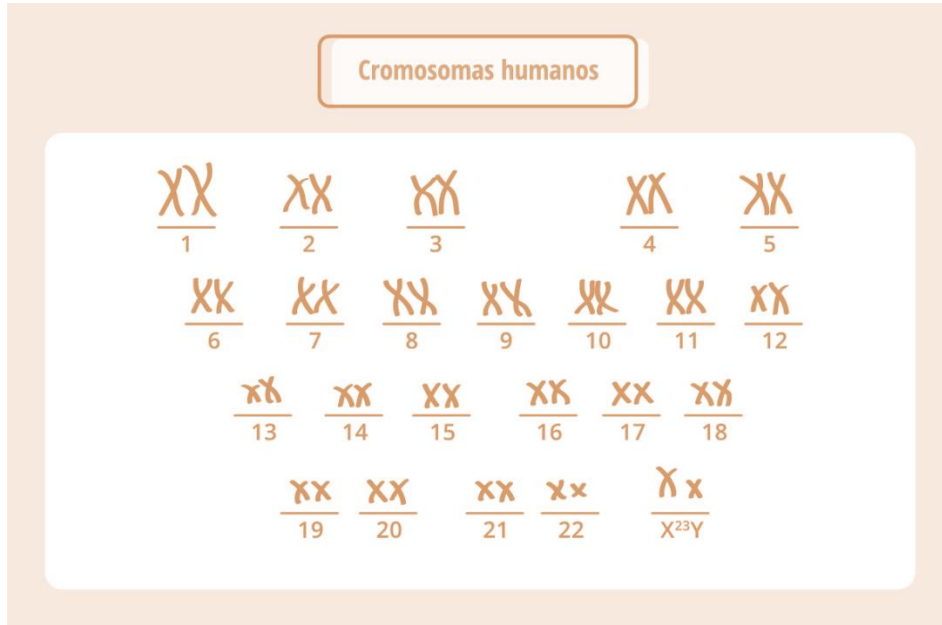
Veamos el esquema de una célula animal: está rodeada por una membrana plasmática y en su citoplasma se encuentran organelas que realizan diferentes funciones. Entre ellas, encontramos al núcleo, y es allí donde vamos a buscar las moléculas que queremos estudiar. En el núcleo encontramos a los cromosomas, que inmediatamente antes de la división celular adoptan una forma de X.



Fotografía de un cromosoma humano, obtenida por microscopía electrónica

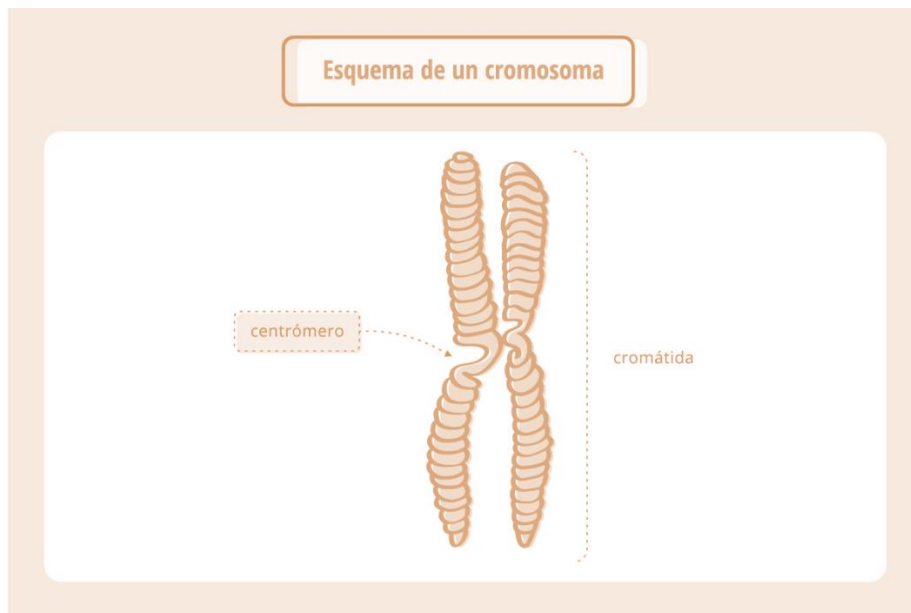
Fuente: ArgenBio, 2024.

Para cada especie, el número de cromosomas es fijo, los humanos tenemos 46 cromosomas por célula, agrupados en 23 pares, de los cuales 22 son autosomas y uno es sexual. (Una mujer tendrá un par de cromosomas sexuales XX y un varón tendrá un par XY).



Fuente: khanacademy, 2024

Cada cromosoma tiene dos brazos idénticos, denominados cromátidas hermanas, unidas por una estructura llamada centrómero.



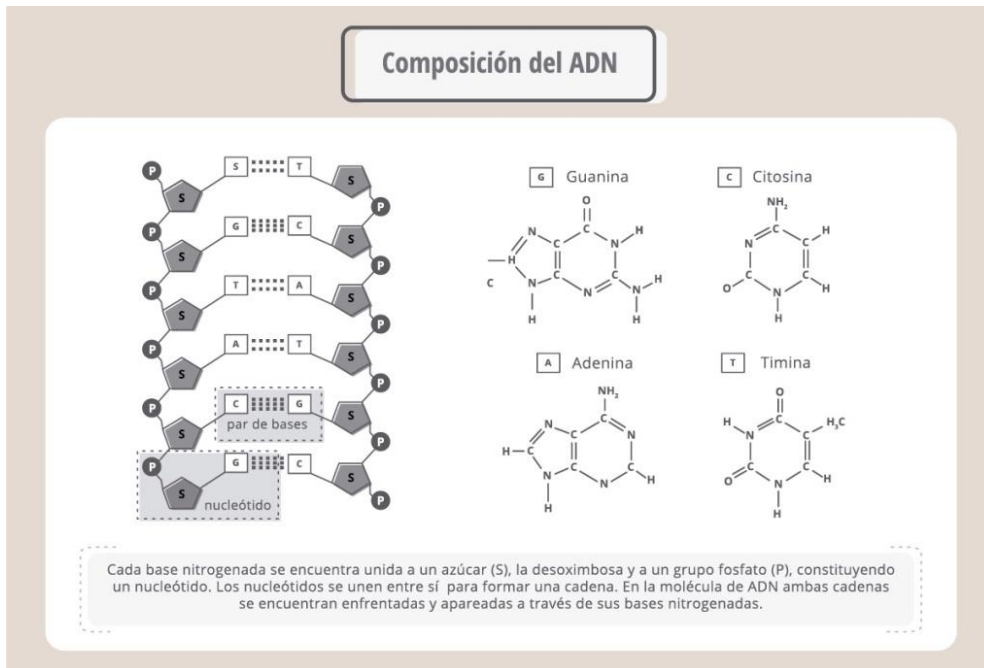
Fuente: khanacademy, 2024.

Estas cromátidas se van a separar a nivel del centrómero en el momento de la división celular. Este proceso, conocido como mitosis, es muy preciso, ya que asegura que cada célula hija reciba el mismo número de cromosomas y la misma información.



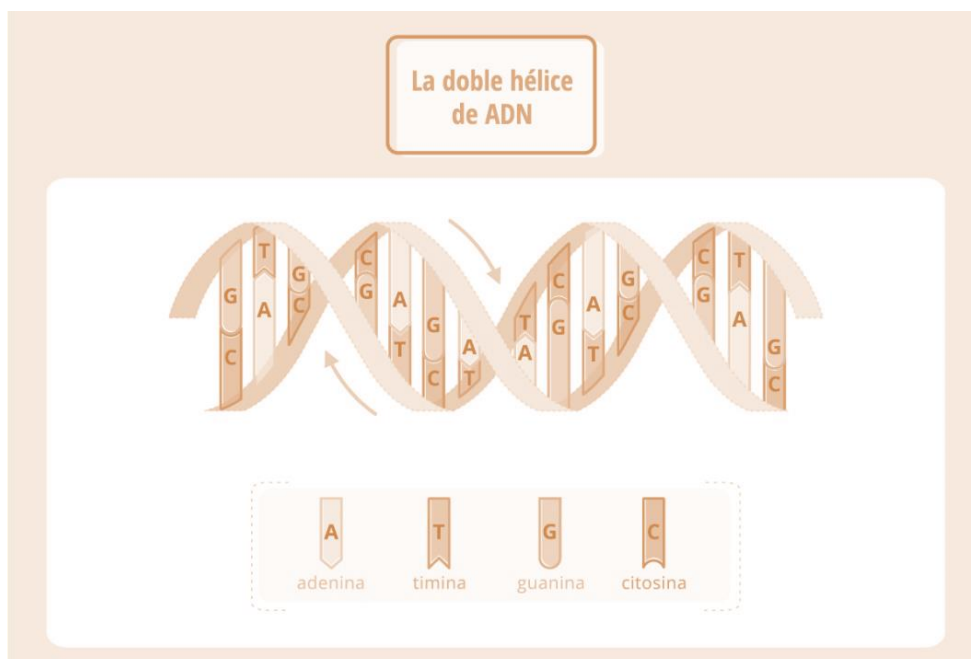
Fuente: khanacademy, 2024

En esta figura vemos que cada cromátida del cromosoma está compuesta por una molécula muy enrollada: el ADN o ácido desoxirribonucleico. El ADN es la molécula que estábamos buscando. Se compone de dos cadenas, cada una formada por nucleótidos. Cada nucleótido está compuesto por un azúcar, la desoxirribosa, un fosfato y una base nitrogenada. Las bases nitrogenadas son cuatro: adenina (A), timina (T), citosina (C), y guanina (G), y, como vemos en el esquema, siempre una A se enfrenta a una T y una C se enfrenta a una G en la doble cadena.



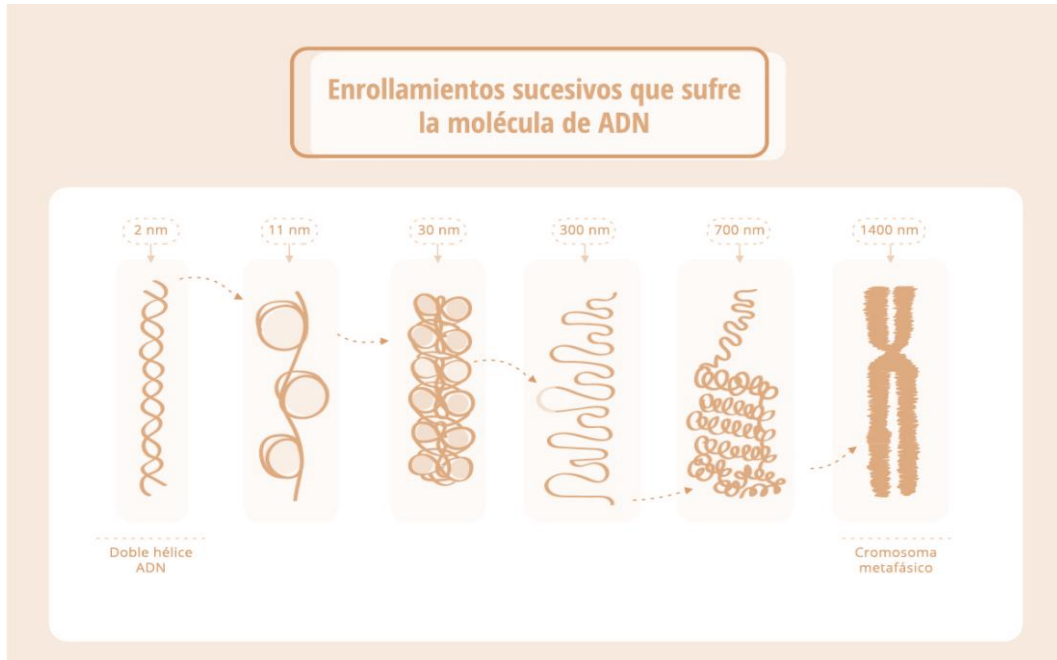
Fuente: khanacademy, 2024.

En el espacio, el ADN adopta una forma de doble hélice, denominada estructura de Watson y Crick, debido a los investigadores que la descubrieron. Podemos imaginar entonces al ADN como una escalera que gira sobre sí misma y donde los lados son cadenas de azúcares y fosfatos, conectadas por “escalones”, que son las bases nitrogenadas.



Fuente: khanacademy, 2024.

En realidad, la molécula de ADN se asocia a proteínas, llamadas histonas, y se encuentra muy enrollada y compactada para formar el cromosoma, que resulta ¡50.000 más corto que la molécula de ADN original!



Fuente: khanacademy, 2024.

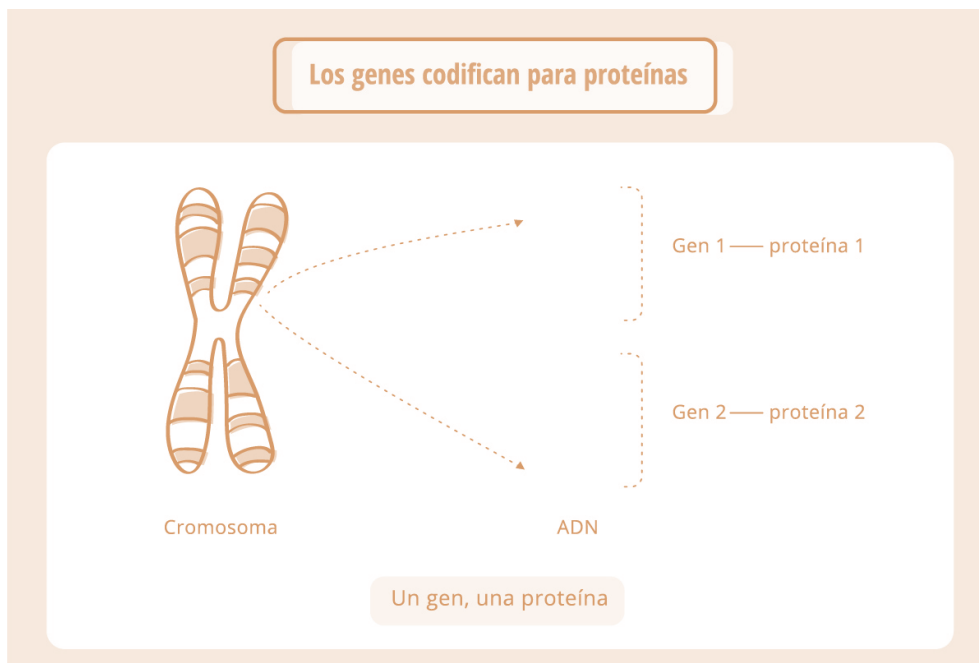
Hasta aquí podemos concluir entonces que un cromosoma está compuesto por dos cromátidas hermanas y que cada cromátida hermana está compuesta por una molécula de ADN. Durante la división celular las cromátidas hermanas se separarán, migrarán hacia los polos de la célula y finalmente constituirán los cromosomas de las células hijas. Cada célula hija iniciará más tarde su propia mitosis y para ello cada uno de sus cromosomas deberá estar constituido por dos cromátidas. ¿Cómo ocurre esta duplicación? La clave es que la molécula de ADN tiene la capacidad de replicarse, es decir, de generar moléculas hijas idénticas a la original. Durante la replicación, la molécula de ADN se desenrolla, separando sus cadenas. Cada una de éstas servirá como molde para la síntesis de nuevas hebras de ADN complementarias a la original. Para eso, la enzima ADN-polimerasa coloca nucleótidos siguiendo la regla de apareamiento A-T y C-G.



Fuente: khanacademy, 2024.

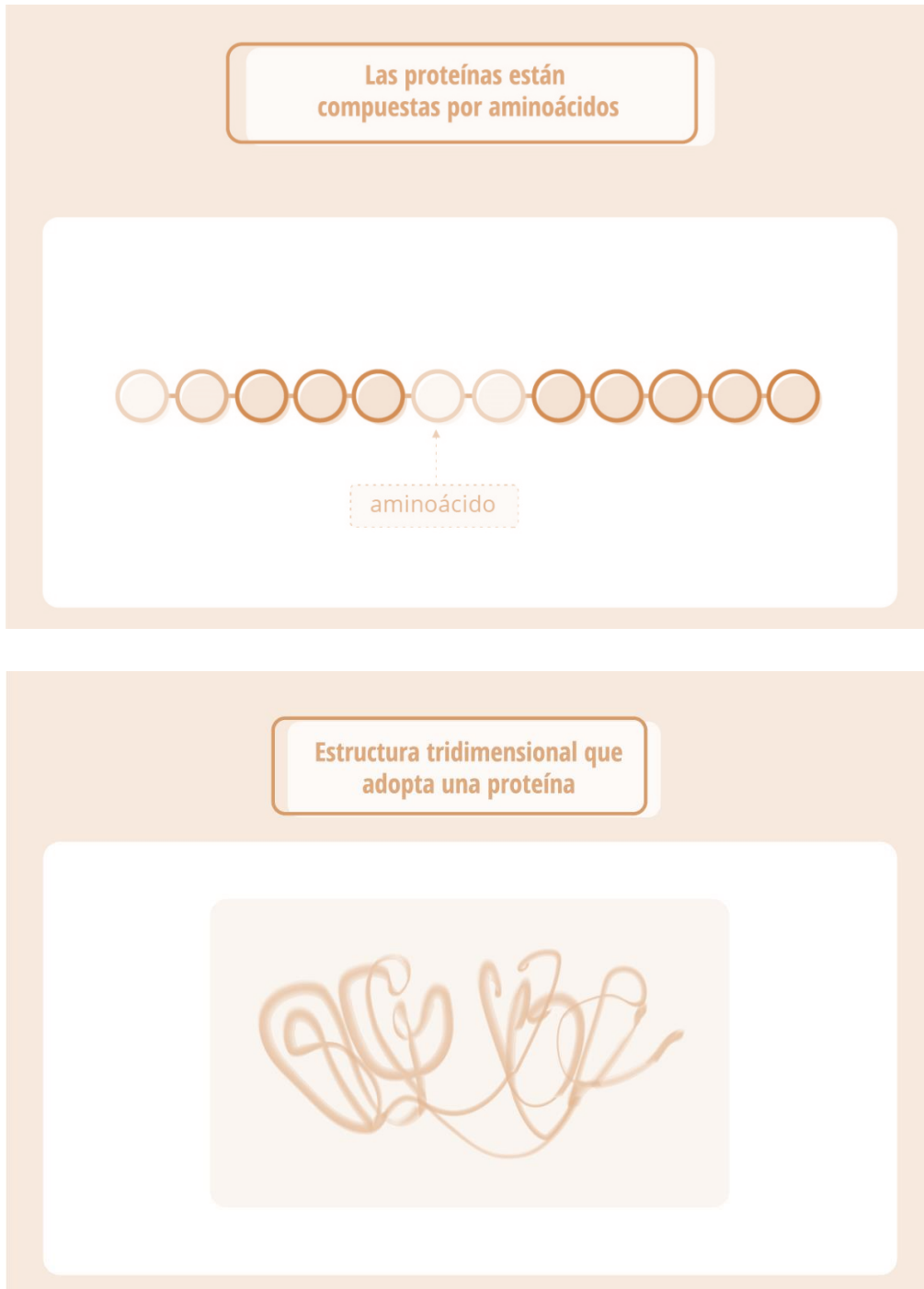
¿Cómo se interpretan las instrucciones?

La información guardada en el ADN es una secuencia de bases A, T, C y G que se combinan para originar “palabras” denominadas genes. Los genes son fragmentos de ADN cuya secuencia nucleotídica codifica para una proteína*.



Fuente: khanacademy, 2024.

Las proteínas son macromoléculas fundamentales para las funciones celulares (hay proteínas estructurales, otras son enzimas, otras transportan oxígeno, como la hemoglobina, y hay otras involucradas en la defensa inmunitaria, como los anticuerpos). Así como el ADN está compuesto por nucleótidos, las proteínas están compuestas por aminoácidos.

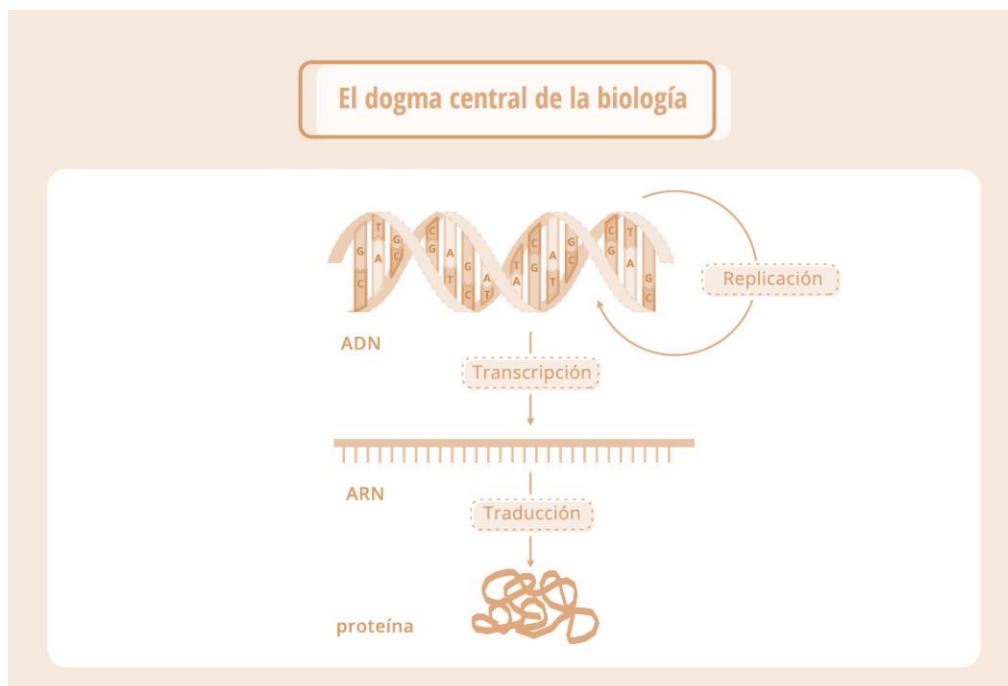


Fuente: khanacademy, 2024.

Hay 20 aminoácidos, y cada proteína tiene una secuencia de aminoácidos particular.

En realidad, los genes son secuencias específicas de nucleótidos que llevan la información necesaria para la fabricación no sólo de proteínas sino también de moléculas de ARN, como los ribosomales y de transferencia.

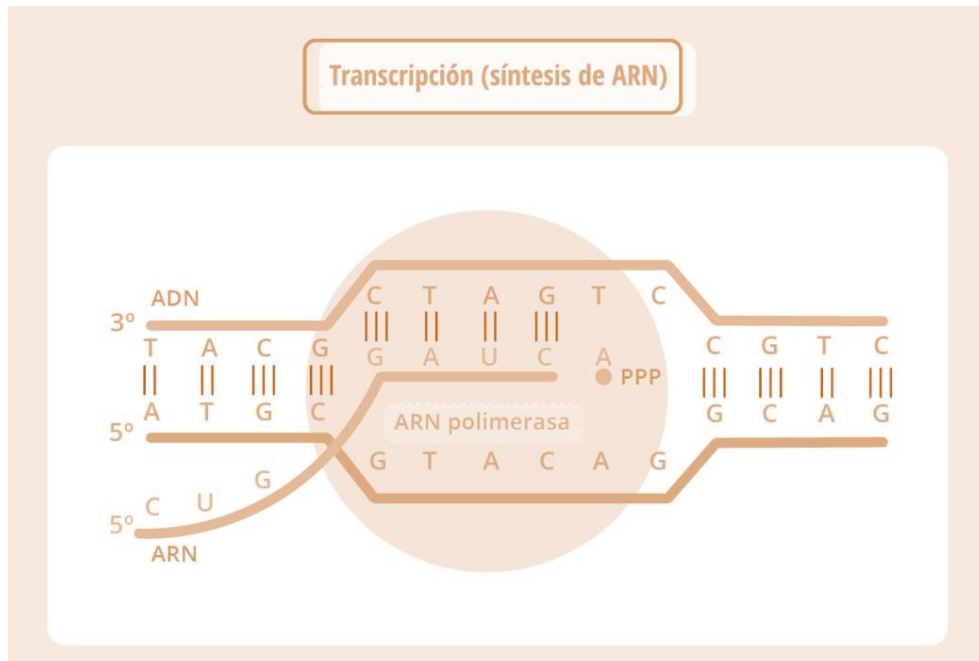
Las palabras (genes) escritas en el ADN en el lenguaje de los nucleótidos primero se copian o transcriben a otra molécula, el ARN mensajero, y luego se traducen al idioma de las proteínas, el de los aminoácidos. Este flujo de información se conoce como el “dogma central de la biología”.



Fuente: khanacademy, 2024.

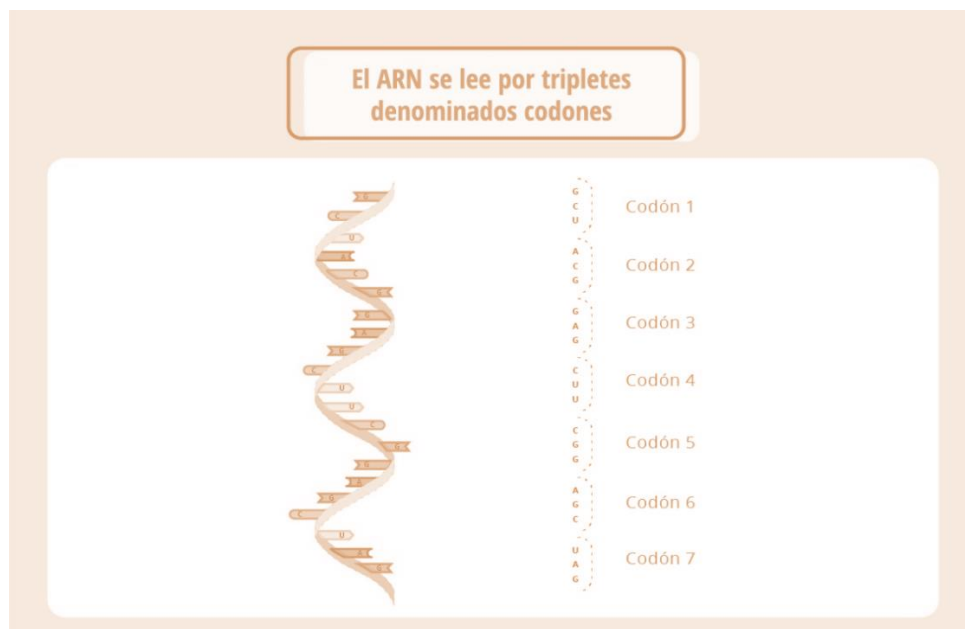
La transcripción es el proceso por el cual una enzima, denominada ARN polimerasa, copia la secuencia de ADN fabricando ahora ARN. El proceso es similar a la replicación, pero ahora la molécula nueva, de cadena simple, es ARN. Se denomina ARN mensajero porque va a llevar la información para que la maquinaria de síntesis proteica fabrique la proteína correspondiente. El ARN, o ácido ribonucleico, es similar al ADN aunque no igual. Se diferencia de éste en que es de cadena simple, en lugar del azúcar desoxirribosa tiene ribosa, y en lugar de la base nitrogenada timina, (T), tiene uracilo (U). Así, como muestra la

esta figura, durante la síntesis del ARN, la enzima ARN polimerasa leerá en el ADN una A y colocará una U.



Fuente: khanacademy, 2024.

Para hacer una proteína, el ARN mensajero se lee cada tres nucleótidos (triplete). Cada triplete de bases se denomina codón.



Fuente: khanacademy, 2024.

Si consideramos la combinación de cuatro bases tomadas de a tres, tenemos un total de 64 codones posibles. A cada codón le corresponde un aminoácido.

El código genético					
UUU	fenil-alanina	UCU	serina	UAU	tirosina
UUC		UCC		UAC	
UUA	leucina	UCA		UAA	stop
UUG		UCG		UAG	stop
CUU	leucina	CCU	prolina	CAU	histidina
CUC		CCC		CAC	
CUA		CCA		CAA	glutamina
CUG		CCG		CAG	
AUU	iso-leucina	ACU	treonina	AAU	asparragina
AUC		ACC		AAC	
AUA		ACA		AAA	lisina
AUG	metionina	ACG		AAG	
GUU	valina	GCU	alanina	GAU	ácido aspártico
GUC		GCC		GAC	
GUA		GCA		GAA	ácido glutámico
GUG		GCG		GAG	
UGU	cisteína			UGU	cisteína
UGC				UGC	
UGA	stop			UGA	stop
UGG	triptofano			UGG	triptofano
CGU	arginina			CGU	arginina
CGC				CGC	
CGA				CGA	
CGG				CGG	
AGU	serina			AGU	serina
AGC				AGC	
AGA	arginina			AGA	arginina
AGG				AGG	
GGU	glicina			GGU	glicina
GGC				GGC	
GGA				GGA	
GGG				GGG	

Los codones de terminación de la síntesis proteica.

El codón de iniciación, que codifica para el aminoácido metionina.

Fuente: khanacademy, 2024.

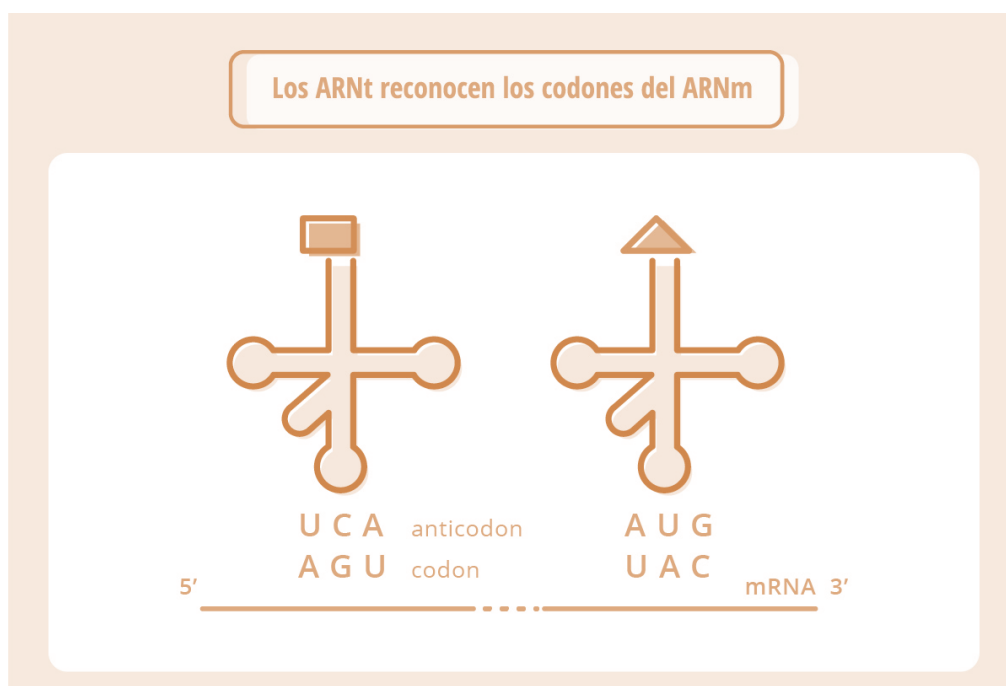
Esta tabla es el “diccionario” que nos permite traducir la información escrita en el lenguaje de los ácidos nucleicos (en nucleótidos) al lenguaje de las proteínas (aminoácidos), y es universal, o sea, es válido para todos los seres vivos. Así, la secuencia ATG (AUG en el ARNm) codifica para el aminoácido metionina, y el codón TTT (UUU en el ARNm) codifica para el aminoácido fenilalanina en todos los organismos vivos.

El código genético consiste en 61 codones que corresponden a aminoácidos y 3 codones de terminación (codones stop), responsables de la finalización de la síntesis proteica. Como sólo existen 20 aminoácidos en la naturaleza, varios codones pueden codificar para el mismo aminoácido (por ejemplo, al aminoácido glicina le corresponden los codones GGU, GGC, GGA y GGG).

El código genético fue elucidado por Marshall Nirenberg y Heinrich Matthaei, diez años después de que Watson y Crick describieran la estructura de doble hélice del ADN. Descubrieron que el ARN, independientemente del organismo del cual era aislado, podía iniciar la síntesis de proteínas cuando se lo incubaba junto a

extractos celulares. Agregando un ARN sintético formado sólo por uracilos (poli-U), determinaron que el codón UUU (el único posible en el ARN poli-U) codificaba para el aminoácido fenilalanina, ya que el único producto que aparecía en el tubo era un polipéptido que contenía sólo este aminoácido. De la misma manera, un ARN artificial que consistía en nucleótidos A y C alternados originaba un polipéptido formado por histidinas y treoninas. Así, observando los productos formados luego de la incubación con una serie de ARN sintéticos, estos investigadores consiguieron descifrar el código genético.

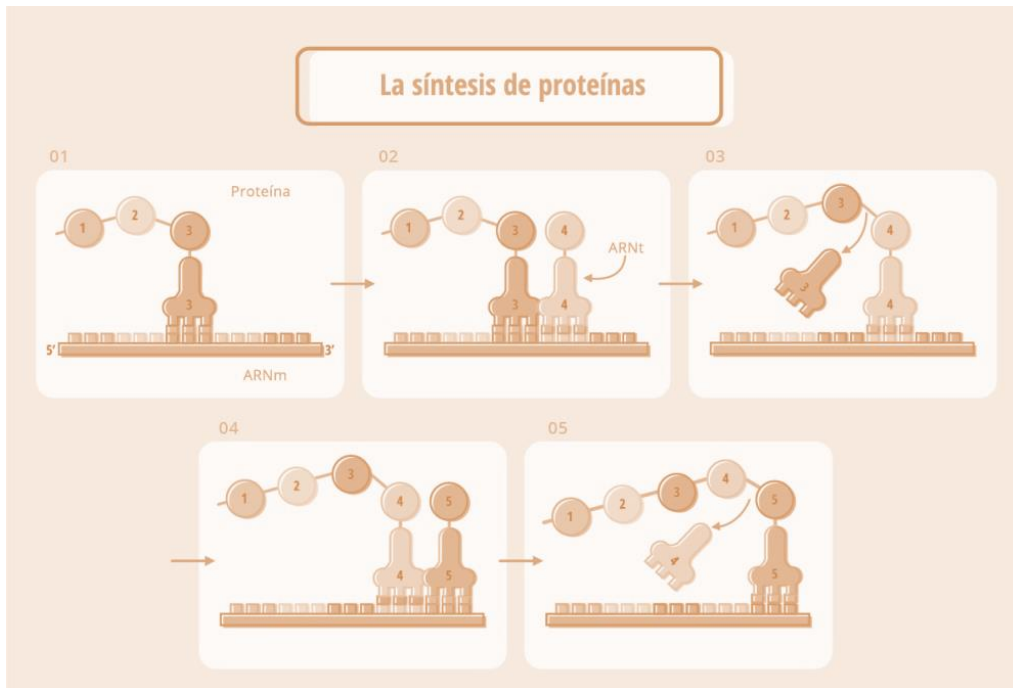
Cada codón del ARNm en realidad es leído por otro ARN, llamado ARN de transferencia (ARNt), que actúa como un “adaptador” entre la información que lleva el ARNm y los aminoácidos que deben ir colocándose para formar la proteína correspondiente. El ARNt es muy pequeño comparado con los ARNm o ARN ribosomales, y tiene una estructura particular, denominada “hoja de trébol”.



Fuente: khanacademy, 2024.

El ARNt tiene una secuencia, denominada anticodón que aparea (es decir, es complementaria) con el codón. Cada ARN de transferencia tiene un anticodón y “carga” un aminoácido en particular. Por ejemplo, como se muestra en la Fig. 18, el ARNt que tiene el anticodón UCA, se aparea al codón AGU, y carga el

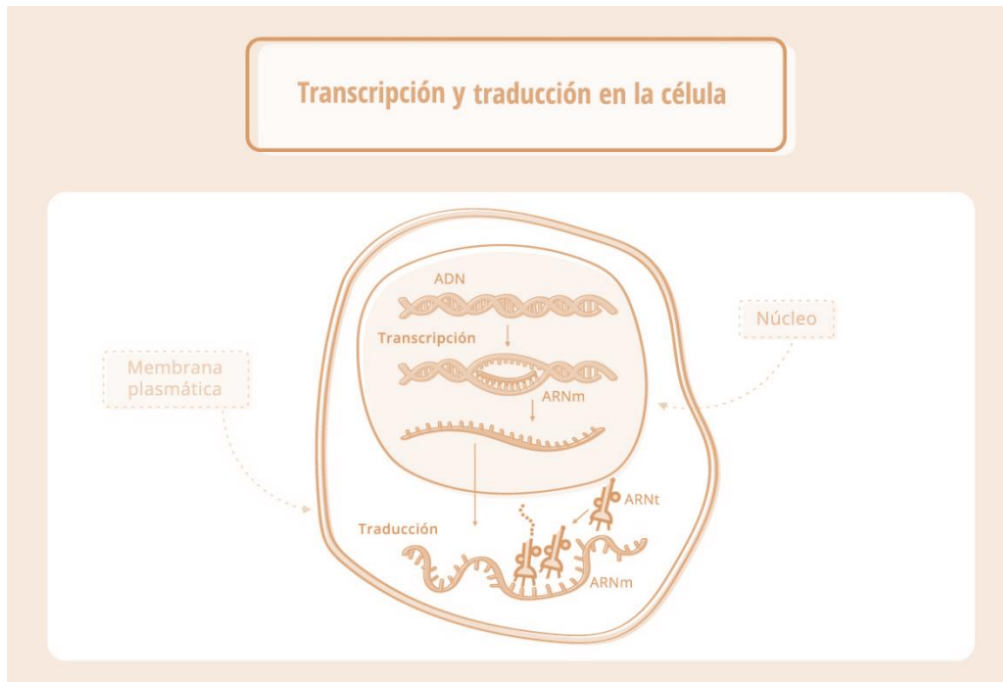
aminoácido serina (Ser). De la misma manera, el ARNt que carga tirosina (Tyr) se aparea, a través de su anticodón, con el codón UAC.



Fuente: khanacademy, 2024.

La figura muestra cómo se va formando una cadena polipeptídica (proteína) a medida que los ARNt reconocen sus respectivos codones. Este proceso complejo de síntesis proteica se denomina traducción y ocurre sobre los ribosomas.

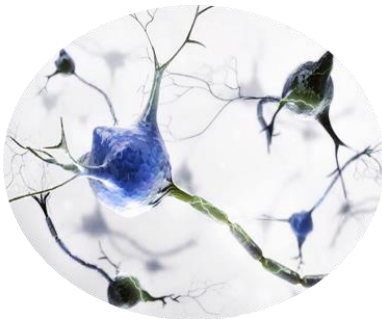
Tanto la replicación del ADN como la transcripción ocurren en el núcleo. El ARNm recién sintetizado viaja luego al citoplasma donde se traduce para originar la proteína correspondiente.



Fuente: khanacademy, 2024.

No todos los genes se expresan al mismo tiempo

Neuronas

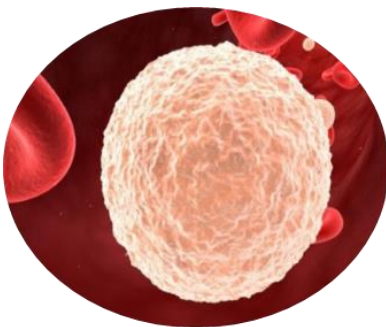


Fuente: Ciencia, cultura y sociedad, 2020,

Todas nuestras células contienen dos juegos de 23 cromosomas (salvo los óvulos y espermatozoides que contienen sólo uno) y las “instrucciones” guardadas en cada juego de cromosomas de cada una de nuestras células son las mismas. Sin embargo, una neurona es una célula con prolongaciones y su función es

recibir y transmitir impulsos nerviosos.

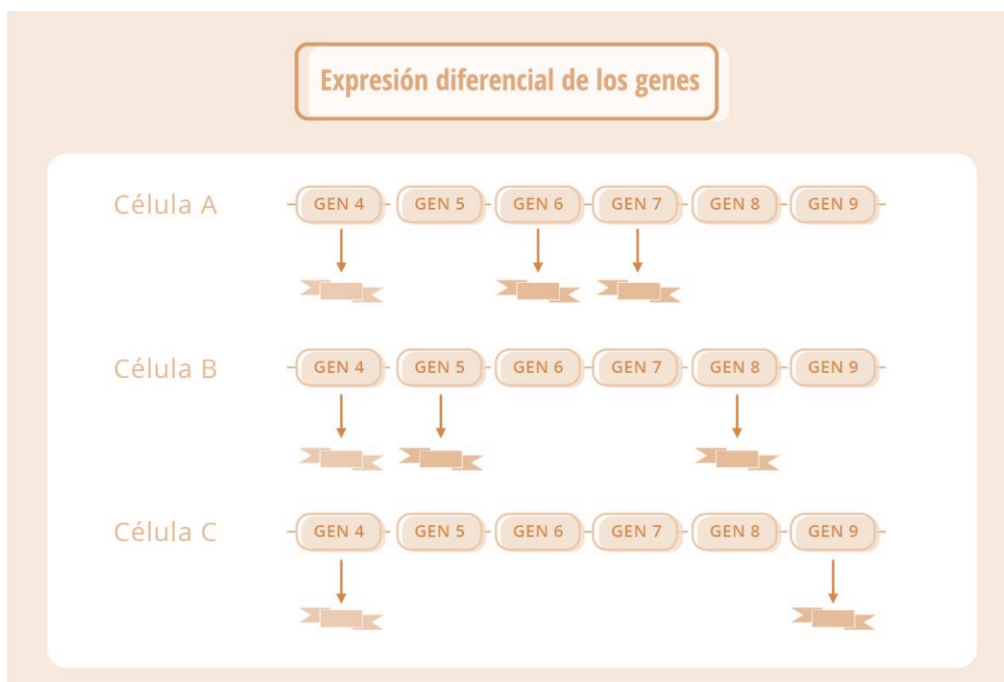
Glóbulo blanco



Fuente: Högbom, 2020,

Los glóbulos blancos son en cambio redondeados y se ocupan de la defensa de nuestro cuerpo, reconociendo a los microorganismos patógenos para eliminarlos... ¿Si todas las células tienen las mismas “instrucciones” por qué no son todas iguales, tienen la misma forma e idéntica función?

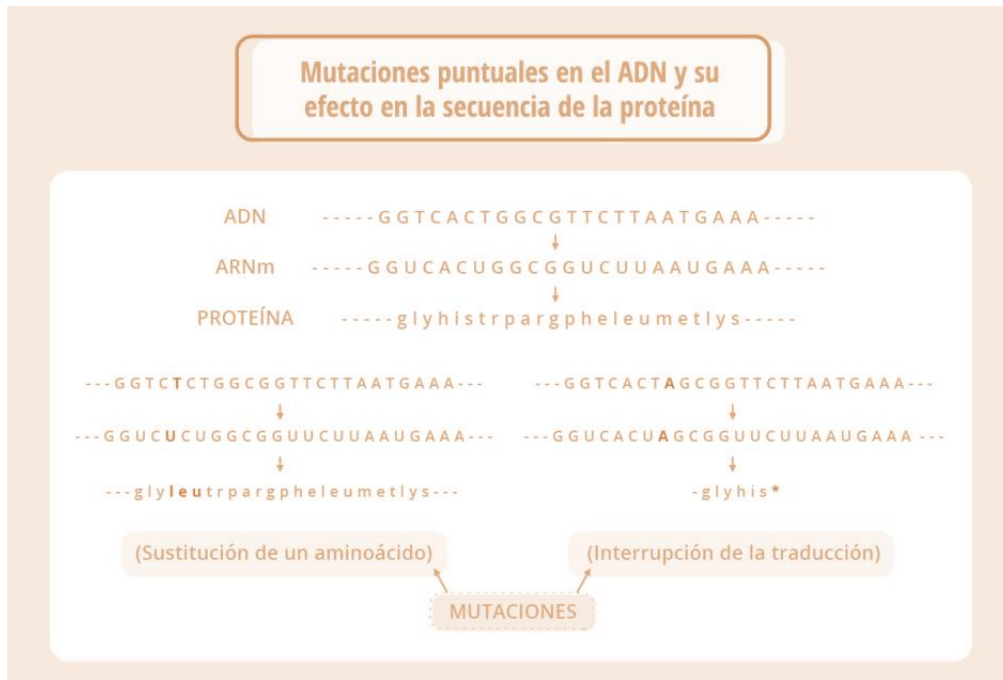
Si bien todas las células de nuestro cuerpo tienen los mismos genes, no todos se expresan en todas las células, es decir, no todos se transcriben y traducen.



Fuente: ArgenBio, 2024.

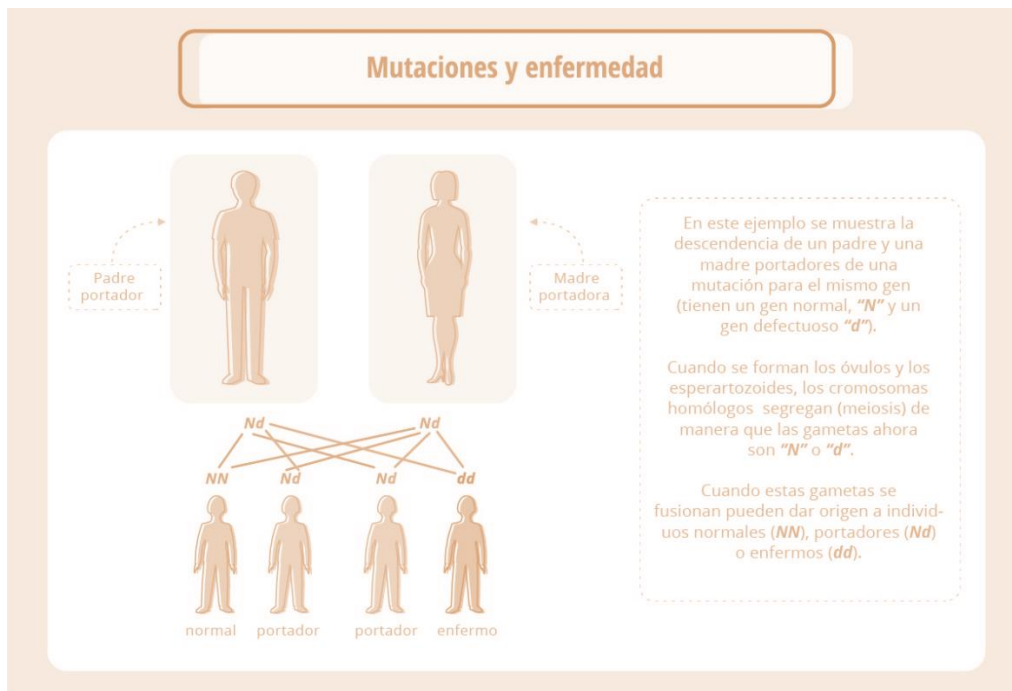
Por ejemplo., el gen 4 se expresa en todas las células, mientras que en la célula A se producen específicamente las proteínas correspondientes a los genes 6 y 7, mientras que las proteínas derivadas de los genes 5 y 8 son exclusivas de la célula B y el producto del gen 9 es exclusivo de la célula C. En este ejemplo hipotético, el producto del gen 4 cumpliría funciones comunes a los tres tipos celulares mientras que la expresión diferencial de los otros genes determinaría las diferentes formas y funciones.

A veces los genes cambian (mutaciones) y este es un fenómeno relativamente frecuente, la enzima que se encarga de la replicación (ADN polimerasa) se equivoca, es decir, coloca un nucleótido en lugar de otro. Veamos qué puede ocurrir entonces.



Fuente: ArgenBio, 2024.

En el panel superior (ADN) vemos la secuencia de un fragmento de un gen; cuando éste se transcribe origina un ARN mensajero (ARNm), el cual es leído por la maquinaria de traducción para dar una proteína cuya secuencia de aminoácidos se ve más abajo (proteína). Supongamos ahora (panel de la izquierda) que la enzima ADN polimerasa se equivocó y colocó una T en lugar de la quinta A de la secuencia. Al traducirse el mensajero correspondiente, aparece una leucina en lugar de una histidina, porque el codón CAC original ahora es CUC. Por lo tanto, la proteína generada es diferente en un aminoácido a la original. Este cambio podría alterar o anular la función de la proteína. En el panel de la derecha vemos otro ejemplo, donde el codón UGG cambia a UAG, pero UAG es un codón de “parada”, o sea que la nueva proteína ahora es más corta, y probablemente no pueda realizar su función.



Fuente: ArgenBio, 2024.

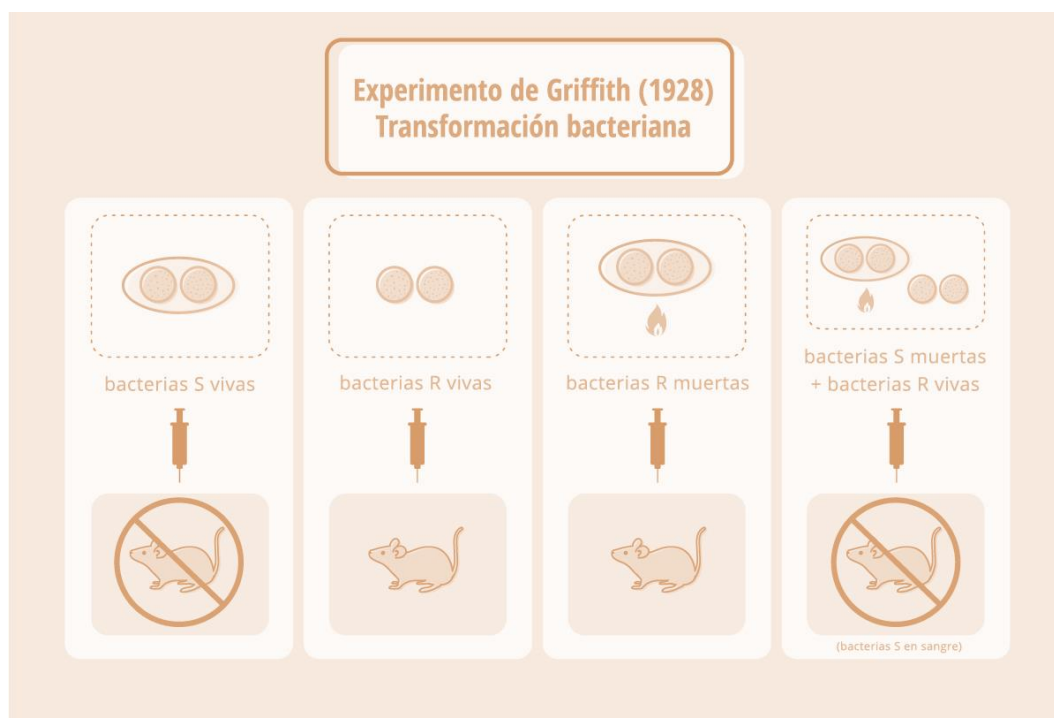
Un ejemplo de enfermedad debida a una mutación puntual es la anemia falciforme, causada por un cambio en la secuencia del gen de la b-globina, componente de la hemoglobina. En los pacientes que padecen esta enfermedad, los glóbulos rojos son más rígidos que lo normal y no pueden transitar fácilmente por los capilares sanguíneos. Otro ejemplo lo constituyen los diferentes tipos de hemofilia, causada por mutaciones puntuales en los genes que codifican para los factores de coagulación. Al no poseer todos los factores necesarios para la coagulación de la sangre, el paciente sufre hemorragias.

¿Las mutaciones siempre están asociadas a enfermedades? Absolutamente no. La mayoría de las mutaciones no se manifiestan, o porque están en regiones del ADN donde no hay genes, o porque no cambian el aminoácido (recordar que el código genético es degenerado), o porque ese cambio no altera la función de la proteína. O bien podría alterarse la función y esto no resultar perjudicial. Tal es el caso del carácter color de ojos, donde el color claro se produce por falta de ciertas enzimas que fabrican los pigmentos del iris. ¡Es obvio que tener ojos claros no significa estar enfermo! En realidad, las mutaciones son la base de la biodiversidad: todos los humanos tenemos el mismo genoma, pero con algunas poquísimas variaciones. Estas variaciones determinan que seamos diferentes en

el color de ojos, en la altura, en la ondulación de nuestro cabello, etc. Sobre la biodiversidad actúa la selección natural... pero ese es otro capítulo.

El ADN como material genético

Los neumococos de griffith



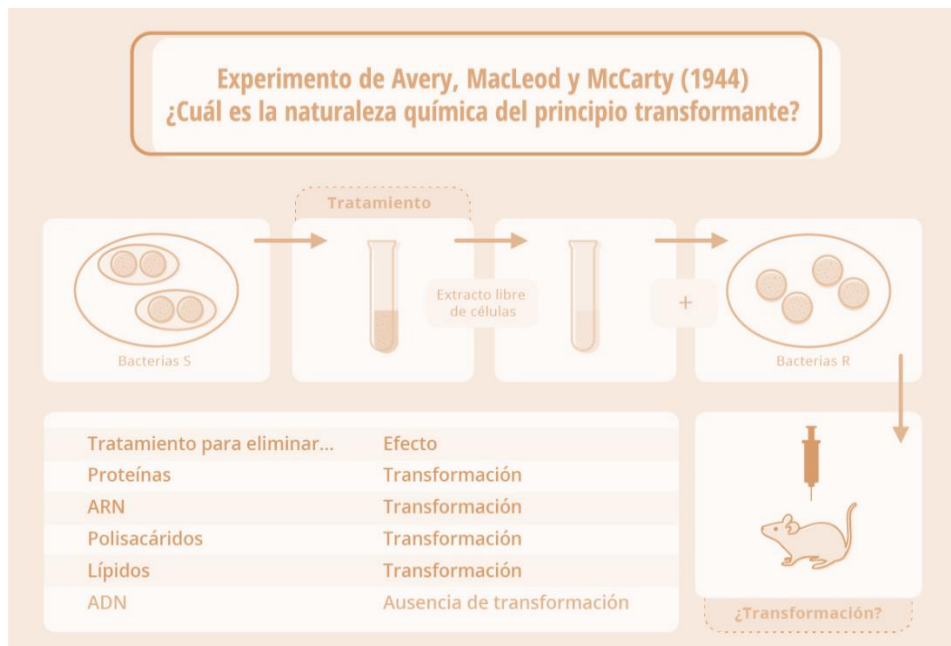
Fuente: ArgenBio, 2024.

La historia del descubrimiento de la composición química de los genes se inicia en 1928, cuando el médico inglés frederick griffith realizaba sus experimentos de infección de ratones con los neumococos (bacterias que causan la neumonía en humanos). La inoculación de estas bacterias en los ratones causa su muerte en 24hs y su patogenicidad se debe a la cápsula de polisacáridos que poseen por fuera de su pared celular. Esta cápsula les otorga a las colonias de neumococos un aspecto brillante o liso, denominado s. Existen mutantes de neumococos que no producen la cápsula de polisacáridos y forman colonias de aspecto rugoso o r. Griffith descubrió que estas mutantes no mataban a los ratones. Pero, sin embargo, si mezclaba a los neumococos r con neumococos s previamente muertos por calor, entonces los ratones se morían. Aún más, en la sangre de estos ratones muertos griffith encontró neumococos con cápsula (s). Esto quiere decir que en las bacterias s muertas había “algo” capaz de transformar a las

bacterias r en patógenas, ¡y este cambio era permanente y heredable! Más tarde se demostró que esta transformación también se producía si se incubaban los neumococos r con un extracto libre de células s.

¿Qué sustancia transmitía la propiedad de matar a los ratones de las bacterias s muertas a las bacterias r vivas? Esta pregunta es clave si consideramos a la transformación de r en s como un fenómeno de intercambio de información genética. Pero en ese entonces nadie imaginaba que las bacterias llevaran genes y por lo tanto la identificación de la sustancia responsable de tal transformación parecía no estar relacionada con el descubrimiento de la naturaleza de los mismos.

La naturaleza del principio transformante



Fuente: ArgenBio, 2024.

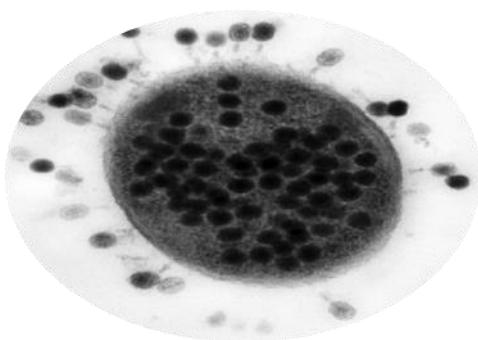
El médico microbiólogo Oswald Avery quedó sorprendido por los resultados publicados por Griffith y aunque al principio no creía mucho en ellos, se propuso descubrir la sustancia responsable del fenómeno de transformación. Así fue como Oswald Avery, junto a sus colegas Colin Macleod y Maclyn McCarty comenzaron a fraccionar el extracto de bacterias s libre de células donde, según Griffith, estaba el principio transformante. Encontraron que podían eliminar las proteínas, los lípidos, los polisacáridos y el ARN del extracto sin disminuir la

propiedad del extracto de transformar a los neumococos r en s. Sin embargo, si purificaban el ADN presente en el extracto y lo incubaban con las bacterias r, éstas se transformaban en s. Era el ADN el principio transformante que hacía que los neumococos r se transformaran en s, es decir, era el ADN el que llevaba la información necesaria para que la cepa r fuera capaz de sintetizar una cápsula de polisacáridos idéntica a la que poseían las bacterias s.

Cuando Avery, Macleod y McCarty publicaron sus resultados en 1944, fueron muy pocos los que concluyeron que los genes estaban compuestos de ADN. En esa época era realmente difícil de imaginar que una molécula “monótona” compuesta sólo de cuatro bases nitrogenadas diferentes pudiera tener la suficiente variabilidad como para llevar toda la información genética que precisaban los seres vivos. Sin duda, eran las proteínas las candidatas para tal función, debido a su gran complejidad y múltiples formas. En este contexto, Avery, Macleod y McCarty concluyeron, tímidamente, en su artículo:

“si los resultados del presente estudio se confirman, entonces el adn debe ser considerado como una molécula que posee especificidad biológica cuya base química aún no ha sido determinada”.

Los bacteriófagos de Hershey y Chase



Fuente Yarzabal, 2006.

Llevó ocho años más para que la comunidad científica se convenciera de que el ADN era el material genético. Fue gracias al experimento que presentaron al Hershey y Martha Chase en 1952, sobre la infección de bacteriófagos o fagos (virus que infectan

bacterias). Los fagos están compuestos por una cabeza proteica que guarda en su interior ADN. Hershey y Chase vieron que durante la infección el ADN abandona la cabeza del fago y entra en la bacteria, dejando afuera la cabeza proteica. Es decir que el ADN lleva la información necesaria y suficiente para hacer más fagos hijos dentro de la bacteria. En otras palabras, el experimento indicaba que era el ADN el portador de la información genética del fago.

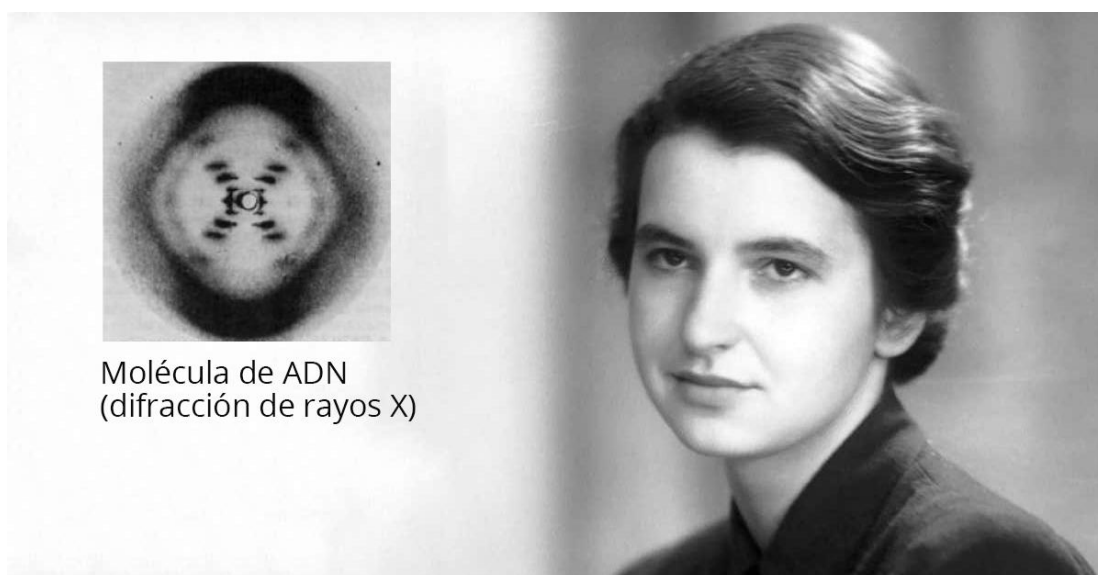
La conclusión de que el ADN portara la información genética para la continuidad de los fagos coincidía plenamente con la obtenida por Avery, Macleod y McCarty, que indicaba que el ADN era el material genético de las bacterias. Sin embargo, y después de la desconfianza con que habían sido tomados los resultados sobre la transformación bacteriana, fue el experimento de los fagos el que disipó las dudas sobre la composición química de los genes.

El ADN no es tan aburrido como parece

Como mencionamos anteriormente, para esa época prevalecía la idea de que el ADN era una molécula demasiado “aburrida” como para ser considerada portadora de la información genética. Esta idea fue desechada gracias al trabajo de Erwin Chargaff, quien analizó en detalle la composición de bases del ADN extraído de diferentes organismos. Llegó a la sorprendente conclusión de que las bases nitrogenadas no se encontraban en proporciones exactamente iguales en levaduras, bacterias, cerdos, cabras y humanos, sugiriendo que el ADN no debía ser tan monótono. Sin embargo, demostró que, independientemente del origen del ADN, la proporción de purinas era igual a la de pirimidinas, y que la proporción de adeninas era igual a la de timinas, y la de citosinas igual a la de guaninas. En su artículo, publicado en 1950, señaló:

“los resultados ayudan a refutar la hipótesis del tetranucleótido. Es sin embargo notable, aunque no podemos decir que este hallazgo no sea más que accidental, que en todos los ADN examinados las proporciones entre el total de purinas y el total de pirimidinas, así como entre adenina y timina, y citosina y guanina, fueron próximos a 1”

Este resultado reflejaba por primera vez un aspecto estructural del ADN, indicaba que independientemente de la composición de a o de g en un ADN, siempre la concentración de a es igual a la de t y la de c igual a la de g. Sin embargo, en aquel momento Chargaff no sospechó las implicancias que podían tener estas reglas (denominadas más tarde “reglas de Chargaff”) en la elucidación de la estructura del ADN. Ni siquiera queda claro si Watson y Crick las tuvieron en cuenta para postular el modelo de la doble hélice.



Molécula de ADN
(difracción de rayos X)

Fuente: Moreno, 2024.

A comienzos de la década de 1950, tres grupos de investigadores trabajaban simultáneamente en la estructura del ADN. Uno de ellos, el de Linus Pauling y sus colegas, formuló un modelo equivocado, en el cual la molécula de ADN debía estar formada por una triple hélice.

En el segundo equipo, liderado por Maurice Wilkins, trabajaba Rosalind Franklin. Ella fue la primera en obtener una excelente fotografía del ADN por difracción de rayos x, a partir de la cual podía deducirse la distribución y la distancia entre los átomos que formaban parte del ADN. Cuentan que mientras Wilkins y Franklin intentaban traducir sus datos en una estructura probable, la fotografía fue vista por James Watson y Francis Crick, el tercer equipo que estaba investigando la estructura del ADN.



Fuente: biologia.edu.ar

Watson y Crick tenían en mente una serie de posibles estructuras, pero al carecer de buenas fotografías no podían concluir sobre cuál era la correcta. La fotografía de Franklin fue clave en este sentido, y así Watson y Crick pudieron publicar en 1953, en el mismo número de la revista

nature en el que publicaron sus fotografías Wilkins y Franklin, la estructura de doble hélice del ADN. Watson y Crick inician su artículo original de esta manera:

“deseamos sugerir una estructura para el ácido desoxirribonucleico (adn). Esta estructura tiene características novedosas que son de considerable interés desde el punto de vista biológico”.

Según el modelo de Watson y Crick, el ADN debía ser una doble hélice y calcularon las distancias exactas que debía haber entre las cadenas y entre los átomos que las componen. Dedujeron que una pirimidina siempre se enfrentaba a una purina de la otra hebra y que estas bases se unían por puentes de hidrógeno.

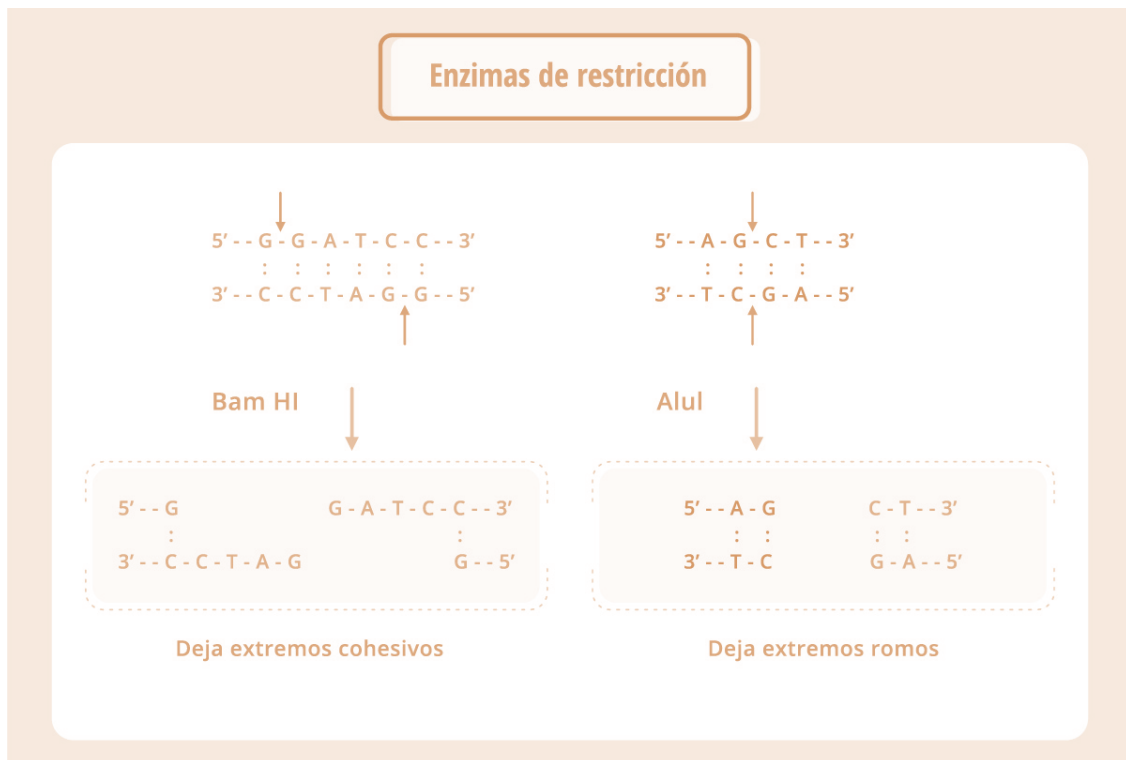
La estructura de la doble hélice sin duda revolucionó la biología molecular. Más allá de haber sido validada por una infinidad de experimentos y técnicas, proporcionó respuestas a muchas preguntas que se tenían sobre la herencia. Predijo la autorreplicación del material genético y la idea de que la información genética estaba contenida en la secuencia de las bases.

En 1962 James Watson, Francis Crick y Maurice Wilkins recibieron el premio Nobel en medicina por el descubrimiento de la estructura del ADN. Rosalind Franklin había fallecido en 1958, a los 37 años de edad.

La ingeniería genética

Cuando los científicos comprendieron la estructura de los genes y cómo la información que portaban se traducía en funciones o características, comenzaron a buscar la forma de aislarlos, analizarlos, modificarlos y hasta de transferirlos de un organismo a otro para conferirle una nueva característica. Justamente, de eso se trata la ingeniería genética (también llamada metodología del ADN recombinante), un conjunto de técnicas que permite transferir genes de un organismo a otro. Como consecuencia, la ingeniería genética sirve expresar genes (producir las proteínas para las cuales estos genes codifican) en organismos diferentes al de origen. Así, es posible no sólo obtener las proteínas de interés (“recombinates”), sino también mejorar cultivos y animales. Se ha utilizado la ingeniería genética para producir, por mencionar apenas algunos ejemplos:

- Vacunas, como la de la hepatitis B
- Fármacos, como la insulina y la hormona del crecimiento humano
- Enzimas para disolver manchas, como las que se usan en los detergentes en polvo
- Enzimas para la industria alimenticia, como las empleadas en la elaboración del queso y en la obtención de jugos de fruta.
- Plantas resistentes a enfermedades y herbicidas.
- Peces que crecen más rápido

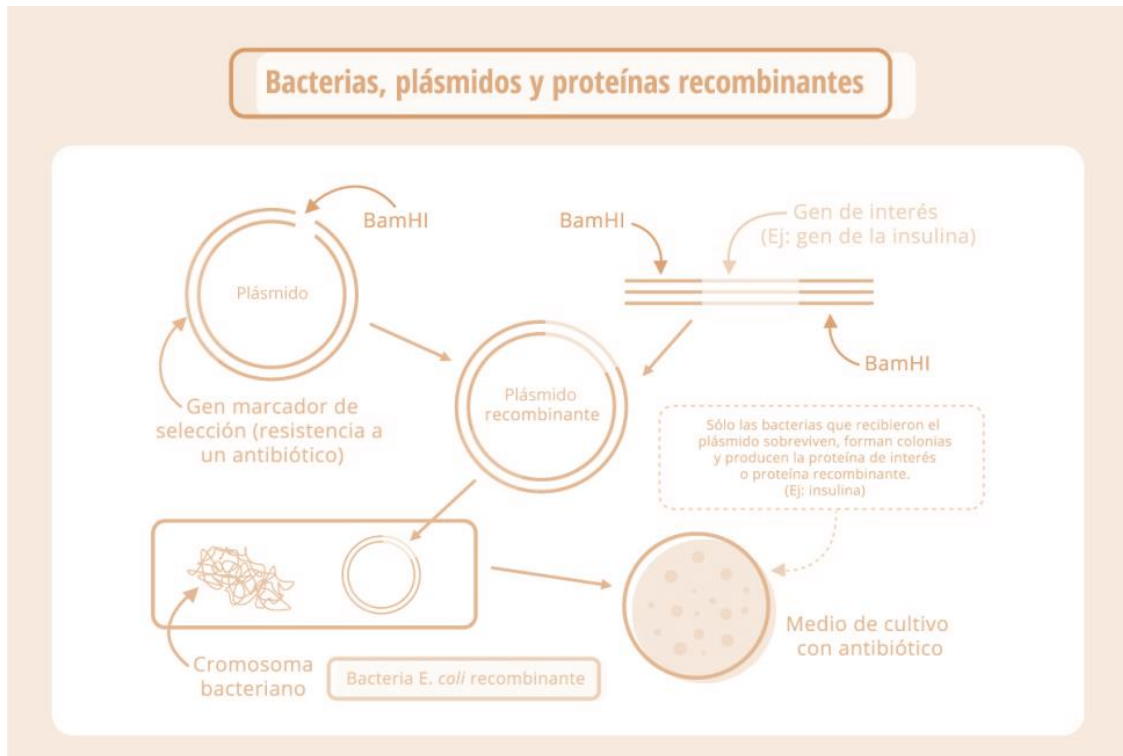


Fuente: ArgenBio, 2024.

El desarrollo de la ingeniería genética (también llamada metodología del ADN recombinante) fue posible gracias al descubrimiento de las enzimas de restricción y de los plásmidos. Las enzimas de restricción reconocen secuencias determinadas en el ADN. De esta manera, conociendo la secuencia de un fragmento de ADN es posible aislarlo del genoma original para insertarlo en otra molécula de ADN. Hay muchas enzimas de restricción obtenidas a partir de bacterias y que sirven como herramientas para la ingeniería genética. Las enzimas de restricción reconocen secuencias de 4, 6 o más bases y cortan generando extremos romos o extremos cohesivos. Estos extremos, generados en diferentes moléculas de ADN, pueden sellarse con la enzima ADN ligasa y generar así una molécula de ADN nueva, denominada recombinante.



CIENCIA DIGITAL EDITORIAL
ISBN: 978-9942-7373-4-2



Fuente: ArgenBio, 2024.

Por esta metodología es posible introducir genes de interés en todo tipo de células, empleando los vectores y las técnicas propias de cada sistema. Podemos entonces generalizar los pasos de la ingeniería genética de la siguiente manera:

- Identificar un carácter o rasgo deseable en el organismo de origen.
- Encontrar el gen responsable del carácter deseado (gen de interés).
- Combinar dicho gen con otros elementos necesarios (vector) para que éste sea funcional en el organismo receptor.
- Transferir el gen de interés, previamente introducido en el vector adecuado, al organismo receptor.
- Crecer y reproducir el organismo receptor, ahora modificado genéticamente.

Por ejemplo, para el caso de la transferencia de un gen insecticida de una bacteria al maíz:

- Identificar la característica “resistencia a insectos” en el organismo de origen, la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis*.
- Encontrar al gen que lleva las instrucciones para esta característica.
- Combinar este gen con otros elementos genéticos para que sea funcional ahora en una planta (ligarlo a un vector).
- Transferir este gen a células de maíz (organismo receptor).
- Identificar las células de maíz que recibieron el gen (células transformadas) y regenerar, a partir de estas células, una planta adulta.

DIVERSIDAD CELULAR

Las células son variables en forma y función. Esto fue una de las causas que hizo difícil llegar a la conclusión de que todos los organismos vivos están formados por unidades con una organización básica común, denominadas células. La otra gran dificultad fue su tamaño diminuto.

Tamaño celular

El tamaño de las células se expresa en micrómetros (μm). Un micrómetro o micra es la milésima parte de un milímetro (10^{-3} mm), es decir, la millonésima parte de un metro (10^{-6} m). Una célula eucariota típica mide entre 10 y 30 μm . Esto es cierto para las células que forman parte de un gusano y para las que componen un elefante. La diferencia es que en el elefante hay más células. Para hacerse una idea de lo pequeñas que son las células imaginemos que estiramos una persona que mide 1,70 metros hasta la altura del Everest, que mide unos 8500 metros. Las células estiradas de este gigante medirían 1,3 centímetros, más pequeñas que una moneda de un céntimo de euro (sería un gigante formado por monedas de céntimo de euro)

Pero hay células eucariotas que se escapan de las dimensiones más comunes y pueden ser muy pequeñas, como los espermatozoides, cuya cabeza puede medir menos de 4 μm de diámetro, mientras que otras como los huevos de algunas aves o reptiles pueden medir más de 10 centímetros (decenas de miles de μm) en su diámetro mayor, pero sólo la yema del huevo, puesto que la clara no es parte de la célula. Piénsese en el huevo de un avestruz. Algunas células pueden tener prolongaciones de su citoplasma que miden varios metros, como sucede con las neuronas del cerebro de la jirafa que inervan las partes más caudales de su médula espinal. Más pequeñas que las células eucariotas son las células procariotas que suelen medir en torno a 1 o 2 μm de diámetro, siendo las más pequeñas los micoplasmas con dimensiones menores a 0,5 μm .



Fuente: mmegias.webs.uvigo.es.

Algunos ejemplos de dimensiones celulares.

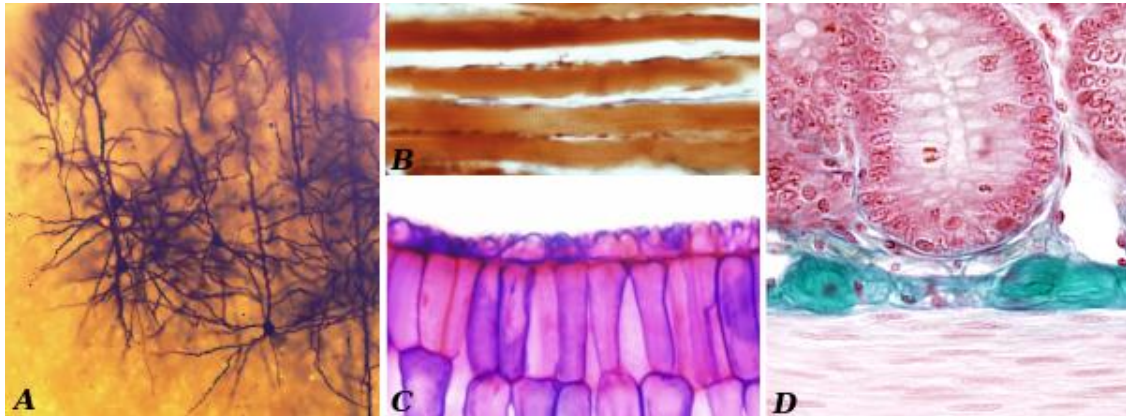
Número

La mayoría de los organismos vivos son unicelulares, es decir, son una única célula independiente. Los procariotas (bacterias y arqueas) son los organismos unicelulares más abundantes. También las especies de eucariotas unicelulares son muy abundantes. Los organismos que podemos ver a simple vista son mayoritariamente pluricelulares, es decir, están formados por muchas células. Estos son los animales, las plantas, los hongos y algunas algas. En general, cuanto mayor es un organismo pluricelular más células tiene, puesto que el promedio en tamaño de las células es similar entre organismos. Hay, sin embargo, ejemplos en los que un aumento de tamaño se consigue por aumento en el tamaño celular. Las estimaciones del número de células que posee un organismo del tamaño similar al ser humano son variables y van desde 10^{13} (un 1 seguido de 13 ceros) hasta 10^{14} (un 1 seguido de 14 ceros), pero para hacerse una idea baste decir que se estima que en el cerebro humano hay unos 86.000 millones de neuronas y en el cerebro de un ratón unos 15.000 millones. Los tipos celulares más abundantes del cuerpo humano son los glóbulos rojos y las neuronas del sistema nervioso. De cualquier manera, el número de células procariotas que se estima hay en la Tierra excede de largo el número de células eucariotas. Baste con decir que asociadas a nuestro cuerpo hay más células procariotas que las células eucariotas que lo componen.

Forma

Es común representar a las células animales con formas redondeadas, pero probablemente esa sea la forma menos común que adoptan en los organismos. La morfología de las células en los tejidos animales es diversa, ¡enormemente

diversa! Puede variar desde redondeada a estrellada, desde multilobulada a filiforme. También las células vegetales presentan formas variadas condicionadas por su pared celular, aunque las formas cuboidales o prismáticas son las más comunes. Véanse algunos ejemplos en la Figura 2. Esta variedad de formas es una de las causas por las que se tardó tanto en formular la teoría celular y en darse cuenta de que todos los organismos vivos estaban formados por células con formas y tamaños muy diversos.



Fuente: Elaboración propia.

Diversas formas celulares.

- A) Neuronas de la corteza cerebral.
- B) Células musculares esqueléticas vistas longitudinalmente.
- C) Células vegetales de una hoja. Se puede ver la diferencia entre las células parenquimáticas, grandes y alargadas, y las de la epidermis, en la parte superior, pequeñas e irregulares.
- D) Distintos tipos celulares del tracto digestivo. Las células más rojizas de la parte superior son epiteliales, las alargadas pálidas de abajo son músculo liso y las verdosas situadas entre ambas son células del tejido conectivo.

Función

Los organismos que son una única célula son muy variados morfológicamente, dependiendo de su forma de vida y del medio al que se hayan adaptado. En

estos casos, una sola célula debe realizar todas las funciones necesarias para su supervivencia y reproducción. Un organismo pluricelular, por su parte, también tiene que realizar numerosas funciones para mantener su integridad y reproducción, las cuales son llevadas a cabo por muchos tipos de células especializadas funcionando coordinadamente. Estas funciones son extremadamente complejas y variadas, desde las relacionadas con la alimentación, la detoxificación, el movimiento, la reproducción, el soporte, o la defensa frente a patógenos, hasta las relacionadas con el pensamiento, las emociones o la consciencia. Todas estas funciones las llevan a cabo células especializadas como las células del epitelio digestivo, las hepáticas, las musculares, las células germinales, las óseas, los linfocitos o las neuronas, respectivamente. La especialización supone la disponibilidad de una maquinaria molecular necesaria para su función, sobre todo formada por proteínas, que adoptan las formas más dispares para ser eficientes. Algunas funciones necesarias en un organismo pueden llevarse a cabo por células pertenecientes a un solo tipo, pero más comúnmente se necesita la cooperación de varios tipos celulares actuando de manera coordinada. Incluso, algunas funciones requieren que la célula muera tras su diferenciación, como es el caso de las células que forman las uñas o las del xilema, las cuales forman los vasos conductores de árboles y plantas, y que son el principal componente de la madera.

Diversidad celular

Los primeros organismos que habitaron la Tierra eran seres unicelulares. Aún hoy día, existen multitud de ellos. Sin embargo, hace más de 1.000 millones de años, las células eucariotas comenzaron a agruparse y terminaron formando seres pluricelulares. Los organismos pluricelulares están formados por numerosas células, todas las cuales proceden de una o varias células iniciales (normalmente un cigoto), que se divide por mitosis. Esto significa que todas las células de un ser pluricelular son genéticamente idénticas.

Sin embargo, dichas células son diferentes morfológica y funcionalmente. La causa está en la diferenciación celular. La diferenciación celular consiste en el silenciado de parte del genoma celular, con lo que sólo una parte del ADN se expresa. Así, las células se especializan en una función determinada y dejan de

tener la capacidad de dividirse y formar nuevos organismos (la totipotencia del cigoto).

La especialización permite la división del trabajo: cada grupo de células puede dedicarse a una función específica, lo que resulta en una mayor eficacia de los organismos pluricelulares.

Las células madre (stem cells) son células que se encuentran en todos los organismos pluricelulares y que pueden dividirse (por mitosis) y diferenciarse en células especializadas, además de autorrenovarse para producir más células madre. Existen dos tipos de células madre: embrionarias y adultas. Células madre embrionarias: se hallan en el embrión. Pueden ser totipotentes (pueden generar el organismo completo), pluripotentes (pueden dar todos los tejidos adultos), multipotentes (pueden dar varios tipos de tejidos adultos) u oligopotentes (sólo pueden dar un tipo de tejido y algunos tipos celulares).

Células madre adultas: se encuentran en casi todos los tejidos adultos para su crecimiento y reparación. Generalmente son multi u oligopotentes.

Actualmente pueden obtenerse células madre a partir de células adultas. Las células madre se emplean en medicina regenerativa y tienen un inmenso futuro en terapias celulares y trasplantes.

Componentes celulares

Todas las células poseen tres estructuras básicas comunes: membrana plasmática, citoplasma y material genético.

Membrana plasmática

Es una envoltura lipoproteica que rodea, limita y protege a la célula. La membrana controla el intercambio de sustancias con el medio y es el órgano de relación de la célula.

Citoplasma

El citoplasma es el contenido de la célula. Está formado por una disolución acuosa, el citosol, donde hay sales y moléculas orgánicas disueltas. Dentro del

citoplasma hay numerosos orgánulos, con o sin membrana, que realizan las diferentes funciones de la célula.

Material genético

El material genético en toda la célula es ADN (ácido desoxirribonucleico), una compleja y enorme molécula de ácido nucleico que contiene la información genética. El ADN controla la actividad celular, incluida la división, y se reparte equitativamente entre las células hijas.

Modelos de organización

Aunque la célula es la unidad estructural y funcional de los seres vivos, existen estructuras formadas por biomoléculas orgánicas y que son muy importantes para los seres vivos. Entre ellas destacan los virus.

Organización acelular:

Los virus

Los virus son organismos muy sencillos, sin estructura celular. Su pequeño tamaño (10 a 400 nm), cientos de veces menor que una célula, hace que se requiera un microscopio electrónico para su observación. Carecen de metabolismo propio, por lo que son parásitos obligados de diferentes tipos de células (procariotas o eucariotas). Constan de un material genético (ácido nucleico, que puede ser ARN o ADN, pero nunca ambos) y una envoltura proteica llamada cápsida. Algunos virus poseen, además, una envoltura membranosa obtenida de las células que parasitan.

Según su complejidad estructural, existen dos tipos de organización celular: procariota y eucariota.

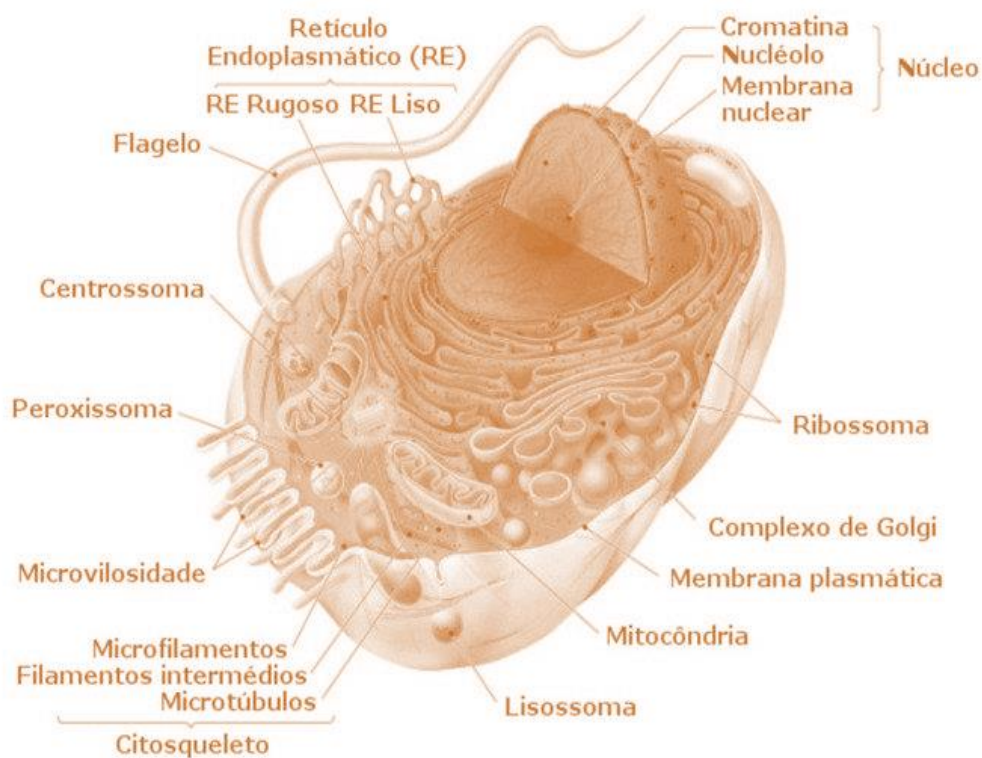
Célula procariota

Son células de estructura sencilla, pues su citoplasma carece de orgánulos membranosos y de verdadero núcleo. Suelen presentar una pared celular que rodea a la membrana y una única cadena de ADN, circular y dispersa en el citoplasma (nucleoide), así como otras cadenas más pequeñas de ADN

(plásmidos). En el citoplasma hay ribosomas que fabrican proteínas. Las bacterias y las arqueas son los únicos procariotas. Todos unicelulares.

Célula eucariota

Son células de estructura compleja, con orgánulos celulares membranosos y un material genético rodeado por una doble membrana (núcleo verdadero). Son organismos eucariotas las algas, protozoos, hongos, plantas y animales. Pueden ser uni o pluricelulares. Existen dos tipos de organización eucariota: la célula animal y la célula vegetal.



Fuente: Marieb, E. (2008).

Muy compleja y con elevada actividad metabólica. Consta de:

- Membrana plasmática. Bicapa lipídica de fosfolípidos y colesterol con proteínas y glúcidos. Controla el paso de sustancias y se encarga de la comunicación celular.
- Citosol. Medio acuoso del citoplasma donde transcurre gran parte del metabolismo. Contiene enzimas, inclusiones y biomoléculas.

- Citoesqueleto. Conjunto de filamentos proteicos de diferente grosor (microtúbulos, microfilamentos y filamentos intermedios) que dan forma a la célula y contribuyen a su movimiento y el de los orgánulos, incluidos los cromosomas durante la división celular. Núcleo
- Orgánulo membranoso de gran tamaño. Tiene doble membrana y contiene la cromatina (ADN asociado a proteínas histónicas), así como uno o varios nucleolos.
- Centrosoma. Región densa del citoplasma, común a animales y vegetales, donde se fabrican los microtúbulos. En las células animales contiene 2 centriolos, estructuras cilíndricas perpendiculares formadas por 9 grupos de 3 microtúbulos cada uno. Los centriolos contribuyen a la formación del huso acromático en la división celular, la formación de cilios y flagelos y a organizar el resto de microtúbulos.
- Ribosomas. Orgánulos no membranosos. Formados por dos subunidades con ARN (ácido ribonucleico) y proteínas). Sintetizan proteínas (traducción del ARNm). Pueden estar libres o adheridos a la membrana del RER y del núcleo.
- Retículo endoplasmático (RE). Red de espacios membranosos interconectados entre sí y con la membrana plasmática y la nuclear. Hay un RE liso, túbulos aplanados sin ribosomas, que sintetiza lípidos y elimina sustancias de desecho; y un RE rugoso, sáculos aplanados con ribosomas, que sintetiza proteínas.
- Aparato de Golgi. Sáculos membranosos apilados. Modifica, secreta y distribuye sustancias elaboradas en el RE mediante vesículas que van a la membrana plasmática o al exterior celular.
- Mitocondrias. Orgánulos con doble membrana, una externa lisa y otra interna con numerosos pliegues llamados crestas. Su espacio interior se denomina matriz. Son las encargadas de obtener la

mayor parte de la energía celular mediante la respiración celular aerobia.

- Lisosomas. Vesículas membranosas formadas en el Golgi. Contienen hidrolasas, enzimas digestivas para la digestión intracelular.

La célula eucariota vegetal



Fuente: Memorang, 2024.

Tienen una organización semejante al animal. Contiene los mismos orgánulos, salvo los centríolos (y, por tanto, tampoco tienen cilios y flagelos). Se comunican mediante perforaciones de la pared llamadas plasmodesmos.

La célula vegetal contiene las siguientes estructuras exclusivas:

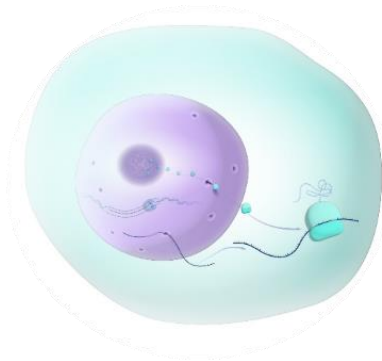
Pared celular. Envoltura rígida por fuera de la membrana plasmática. Está formada principalmente por celulosa. Existe una pared primaria, delgada y flexible, típica de células jóvenes; y una pared secundaria, gruesa y rígida, en células adultas.

Plastos. Orgánulos con doble membrana y diferentes tipos.

- Amiloplastos: almacenan almidón. Cromoplastos: plastos que almacenan pigmentos que dan color a flores, raíces y frutos.
- Oleoplastos: almacenan lípidos.
- Proteinoplastos: almacenan proteínas. Cloroplastos: de color verde, contienen pigmentos diversos y membranas internas (tilacoides) dentro de un espacio interior o estroma. En los tilacoides, agrupados en sacos apilados (grana) están los pigmentos para realizar la fotosíntesis.

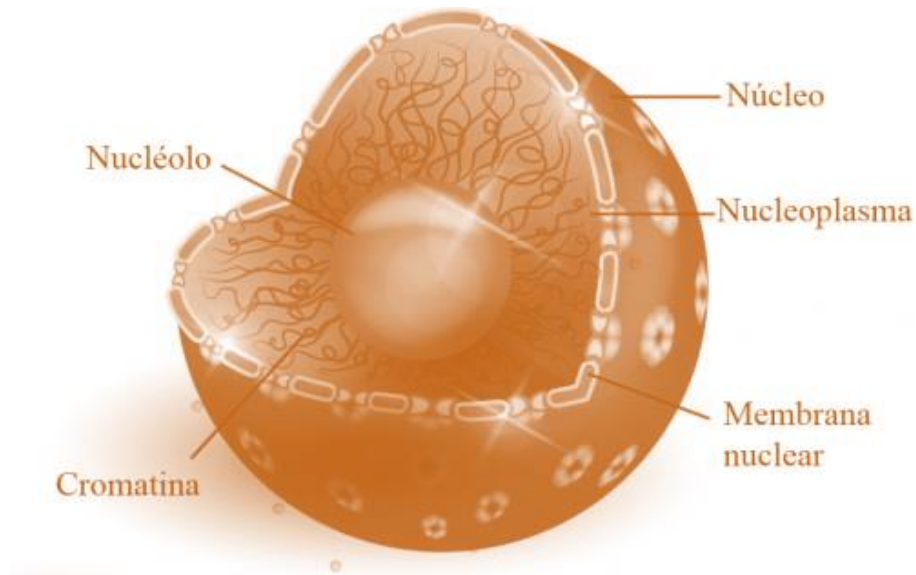
- Vacuolas: orgánulos membranosos de gran tamaño que realizan diversas funciones: ósmosis (control de la entrada y salida de agua), digestión, almacén de nutrientes y desechos, etc.

El núcleo celular



Fuente: National Human Genome, 2024.

El núcleo es un orgánulo membranoso presente en las células eucariotas. Controla la actividad celular y la división gracias al ADN, material genético que almacena la información hereditaria de la célula. Su forma, número y tamaño es variable, dependiendo del tipo de célula.



Fuente: Equipo de Enciclopedia Significados, 2024.

El núcleo es una estructura compleja, formada por: la membrana nuclear, el nucleoplasma, el nucleolo y la cromatina.

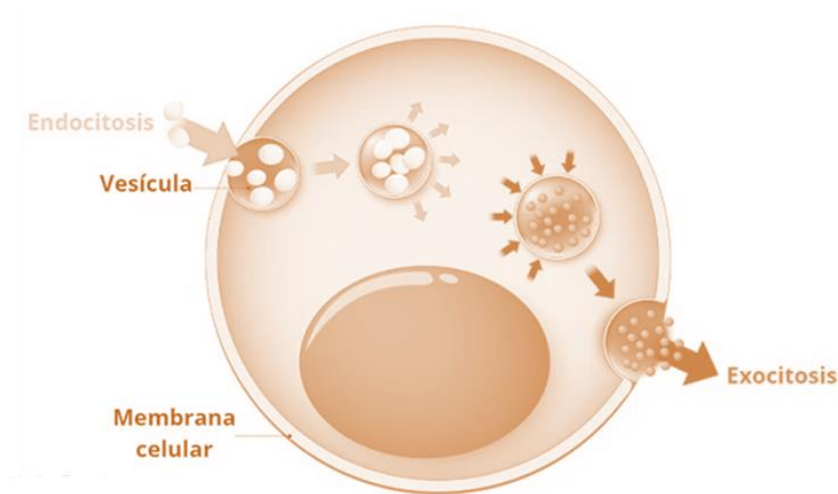
- Membrana nuclear: es una doble membrana, de composición similar a la plasmática. Se continúa con el retículo endoplasmático rugoso y presenta ribosomas en su superficie externa. La membrana nuclear está atravesada por numerosos orificios, los poros nucleares, que permiten el intercambio de sustancias entre el núcleo y el citoplasma.

- Nucleoplasma: líquido interno del núcleo, formado por una disolución acuosa de diversas sustancias que intervienen en la actividad nuclear.
- Nucleolo: región densa del núcleo donde se concentra el material genético implicado en la fabricación de ribosomas, así como fragmentos de éstos.
- Cromatina: es ADN unido a proteínas estructurales, como las histonas. Consta de numerosas cadenas lineales de diferente longitud, cuyo número es característico de cada especie. En los seres humanos hay 46 filamentos.

Funciones celulares

Como seres vivos, las células realizan todas las funciones biológicas: nutrición, relación y reproducción.

Nutrición celular



Fuente: baamboozle, 2024.

La nutrición celular es el conjunto de procesos por los que la célula obtiene materia y energía, necesarios para su mantenimiento, crecimiento y reproducción. Según cómo obtengan la materia orgánica se diferencian dos tipos de células:

Células autótrofas: fabrican materia orgánica (glúcidos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos) a partir de materia inorgánica (agua, CO₂ y sales minerales).

La energía necesaria para hacerlo puede obtenerse de la luz (células fotosintéticas: plantas, algas y algunas bacterias) o de reacciones químicas (células quimiosintéticas: algunas bacterias). Células heterótrofas: obtienen la materia orgánica degradando materia previamente fabricada por otros organismos. Propia de hongos, animales, protozoos y muchas bacterias.

Metabolismo celular

La transformación de los nutrientes se realiza mediante numerosas reacciones químicas que, en conjunto, reciben el nombre de metabolismo. Las reacciones metabólicas son catalizadas por enzimas. El metabolismo consta de dos conjuntos de reacciones:

- Catabolismo: reacciones de degradación. Transforma sustancias complejas y ricas en energía en otras más simples. Así, se obtiene energía (en forma de ATP) y materiales de construcción para las estructuras celulares que se usarán en el anabolismo.
- Anabolismo: reacciones de síntesis. Transforma sustancias sencillas en otras más complejas y ricas en energía. Requiere energía (ATP) y moléculas sencillas que son obtenidas del catabolismo.

Reacciones catabólicas

Las células pueden utilizar muchos tipos de moléculas para obtener energía. En las células eucariotas los procesos catabólicos tienen lugar tanto en el citoplasma como en diferentes orgánulos, principalmente las mitocondrias.

Aunque los lípidos, como los ácidos grasos, son muy energéticos, normalmente se utilizan como reserva de energía a largo plazo. Por ello, la principal fuente de energía son los glúcidos, sobre todo la glucosa, que es oxidada hasta H₂O y CO₂, obteniendo numerosas moléculas de ATP.

Los principales procesos catabólicos son la respiración celular y las fermentaciones.

Respiración celular

La respiración consiste en la degradación de la materia orgánica oxidándola hasta CO_2 y H_2O . Aunque existe una respiración anaerobia, la mayoría de las células realizan una respiración aerobia, que utiliza O_2 para la oxidación.

La respiración aerobia de la glucosa conlleva numerosas reacciones que tienen lugar tanto en el citoplasma como en las mitocondrias. Los procesos implicados son: Glucólisis: tiene lugar en el citosol. La molécula de glucosa (de 6 carbonos) se convierte en dos moléculas de ácido pirúvico (3C). Se producen 2 moléculas de ATP.

Etapas mitocondrial: se produce en el interior de las mitocondrias. El pirúvico es oxidado completamente hasta CO_2 y H_2O , produciendo gran cantidad de energía en forma de ATP..

Fotosíntesis

En los organismos autótrofos eucariotas (plantas y algas) la fotosíntesis tiene lugar en los cloroplastos. La fotosíntesis es un proceso muy complejo y para su estudio se divide en dos fases: Fase lumínica: dependiente de la luz. Se realiza en los tilacoides y permite la captación de energía lumínica para romper moléculas de agua, liberando O_2 .

La energía obtenida se transforma en energía química (ATP y poder reductor). Fase oscura: no precisa de luz, aunque necesita los productos obtenidos en la fase anterior. Tiene lugar en el estroma y consiste en un conjunto de reacciones que transforma moléculas inorgánicas sencillas (CO_2 , H_2O) en glucosa. La glucosa será luego transformada en otras moléculas orgánicas: almidón, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos.

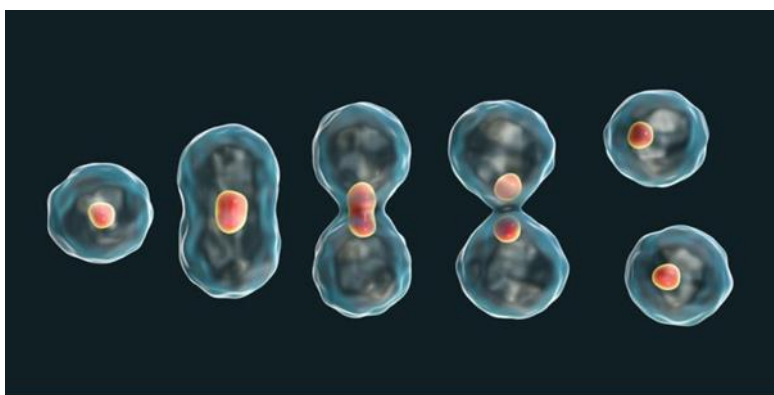
Relación celular

La relación celular permite a las células recoger información del medio y responder apropiadamente para adaptarse. Es una función realizada

principalmente por la membrana celular. Un estímulo es cualquier cambio en el medio que genera una respuesta en las células.

- Organismos unicelulares: están en constante contacto directo con su medio, por lo que deben realizar cambios continuados.
- Organismos pluricelulares: la mayoría de las células están en contacto con el medio interno, del que reciben los estímulos. Las respuestas más habituales son el movimiento y la secreción.

Reproducción celular



Fuente: Difference Between, 2024.

La reproducción celular es un proceso fundamental para el desarrollo, crecimiento y mantenimiento de los organismos vivos. Este fenómeno biológico incluye dos tipos principales: mitosis y

meiosis, cada uno adaptado a propósitos específicos dentro del organismo.

La mitosis es un mecanismo mediante el cual una célula madre eucariota genera dos células hijas genéticamente idénticas, esenciales para el crecimiento y la reparación de tejidos. Este proceso se divide en cuatro fases principales: profase, donde los cromosomas se condensan; metafase, en la que se alinean en la placa ecuatorial; anafase, donde las cromátidas hermanas se separan hacia polos opuestos; y telofase, en la cual se forman dos núcleos hijos y se reorganiza la membrana nuclear. La mitosis asegura la distribución exacta del material genético a las células hijas, manteniendo la estabilidad del genoma.

En contraste, la meiosis ocurre en células germinales y es crucial para la reproducción sexual, dado que reduce a la mitad el número de cromosomas en las células hijas, resultando en gametos haploides. Este proceso implica dos divisiones consecutivas: meiosis I y meiosis II. En la primera, los cromosomas homólogos se aparean e intercambian segmentos de ADN mediante

recombinación genética (profase I), se alinean en el ecuador (metafase I), se separan hacia los polos (anafase I) y forman dos células hijas (telofase I). La meiosis II es similar a una mitosis, dividiendo las cromátidas hermanas sin duplicación previa del ADN, formando finalmente cuatro células haploides genéticamente únicas.

Estos procesos no solo permiten la continuidad de la vida, sino también la diversidad genética en el caso de la meiosis, contribuyendo a la evolución y adaptación de las especies. Su estudio es esencial en áreas como la biología celular y la medicina, especialmente para entender trastornos genéticos y el desarrollo de enfermedades como el cáncer.

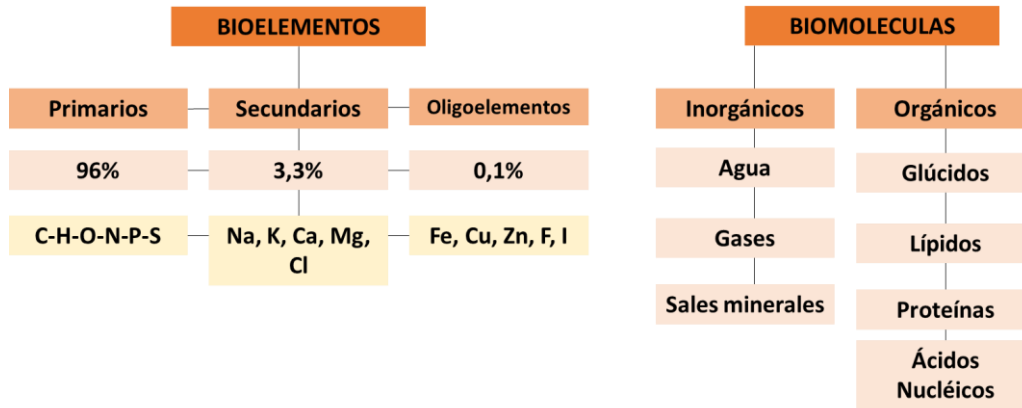
BIOELEMENTOS Y BIOMOLÉCULAS

Los bioelementos y biomoléculas son componentes esenciales de los seres vivos, representando la base química de la vida. Los bioelementos, definidos como los elementos químicos que conforman los organismos vivos, se agrupan en tres categorías principales según su abundancia y función: primarios, secundarios y oligoelementos. Los bioelementos primarios, como el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), constituyen cerca del 96% de la materia viva. Estos elementos son fundamentales porque participan en la formación de biomoléculas orgánicas clave, como proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos. Por su parte, los bioelementos secundarios (calcio, potasio, sodio, cloro, entre otros) representan aproximadamente el 3.9% y desempeñan funciones específicas en procesos biológicos, como la contracción muscular y la transmisión de impulsos nerviosos. Finalmente, los oligoelementos, aunque presentes en cantidades muy pequeñas, son esenciales para funciones vitales como el transporte de oxígeno y la actividad enzimática, destacándose el hierro (Fe), el zinc (Zn) y el cobre (Cu).

Por otro lado, las biomoléculas son compuestos químicos que forman la estructura y función de los seres vivos. Estas macromoléculas se dividen en cuatro grupos principales: carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Los carbohidratos son fuentes primarias de energía, tanto inmediata como almacenada, y desempeñan funciones estructurales, como en la celulosa de las plantas. Los lípidos, además de ser reservas energéticas, forman parte de las membranas celulares y actúan como mensajeros químicos. Las proteínas, compuestas por aminoácidos, tienen una diversidad de roles, incluyendo funciones enzimáticas, estructurales y defensivas. Finalmente, los ácidos nucleicos, como el ADN y el ARN, son responsables de almacenar y transmitir la información genética necesaria para la vida.

El estudio de estos componentes químicos resulta crucial en múltiples disciplinas, desde la biología molecular hasta la medicina, ya que proporciona una comprensión profunda de cómo los organismos funcionan a nivel químico y estructural. Por ejemplo, los avances en el entendimiento de las interacciones

entre bioelementos y biomoléculas han llevado al desarrollo de tratamientos innovadores para enfermedades genéticas y metabólicas, demostrando la importancia de esta área del conocimiento en la ciencia moderna.



Fuente: Elaboración propia.

Los carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos son biomoléculas esenciales que desempeñan funciones clave en los organismos vivos. Cada grupo tiene propiedades y roles específicos que son fundamentales para el funcionamiento celular y la vida.

Carbohidratos



Fuente: Pxfuel, 2024.

Los carbohidratos son moléculas orgánicas formadas principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno. Se clasifican en monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos, dependiendo de su estructura. Su principal función es proporcionar energía rápida a las células a través de la glucosa, utilizada en procesos

metabólicos como el glucólisis. Además, algunos polisacáridos, como el almidón y el glucógeno, actúan como reservorios de energía, mientras que otros, como la celulosa, proporcionan soporte estructural en plantas (UNAM, 2012; LibreTexts, 2023).

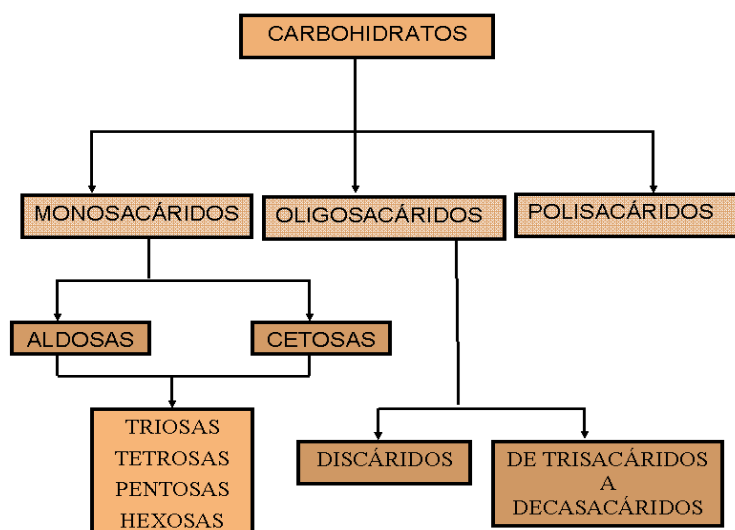
Los carbohidratos son moléculas esenciales en los seres vivos, constituidas principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno. Su fórmula general es $(CH_2O)_n$, donde n indica el número de átomos de carbono. Esta proporción de 1:2:1 refleja su composición básica como "hidratados de carbono".

Estructura y Clasificación

Los monosacáridos son las unidades más simples y presentan de tres a siete átomos de carbono. Estos azúcares simples pueden clasificarse como aldosas o cetosas, dependiendo de si contienen un grupo funcional aldehído o cetona, respectivamente. En solución acuosa, suelen adoptar estructuras cíclicas. Los disacáridos, como la sacarosa y la lactosa, se forman mediante enlaces glucosídicos entre dos monosacáridos. Por último, los polisacáridos, como el almidón y la celulosa, son macromoléculas complejas que actúan como reservas de energía o estructuras celulares.

Monosacáridos

Entre los monosacáridos más importantes destacan la glucosa, la fructosa y la galactosa. La glucosa ($C_6H_{12}O_6$) es fundamental para el metabolismo energético y se encuentra en diversas rutas metabólicas celulares. La fructosa, una cetosa presente en frutas y miel, también sirve como fuente de energía, mientras que la galactosa forma parte de la lactosa en los lácteos y es esencial en compuestos cerebrales como glucolípidos.



Fuente: Elaboración propia.

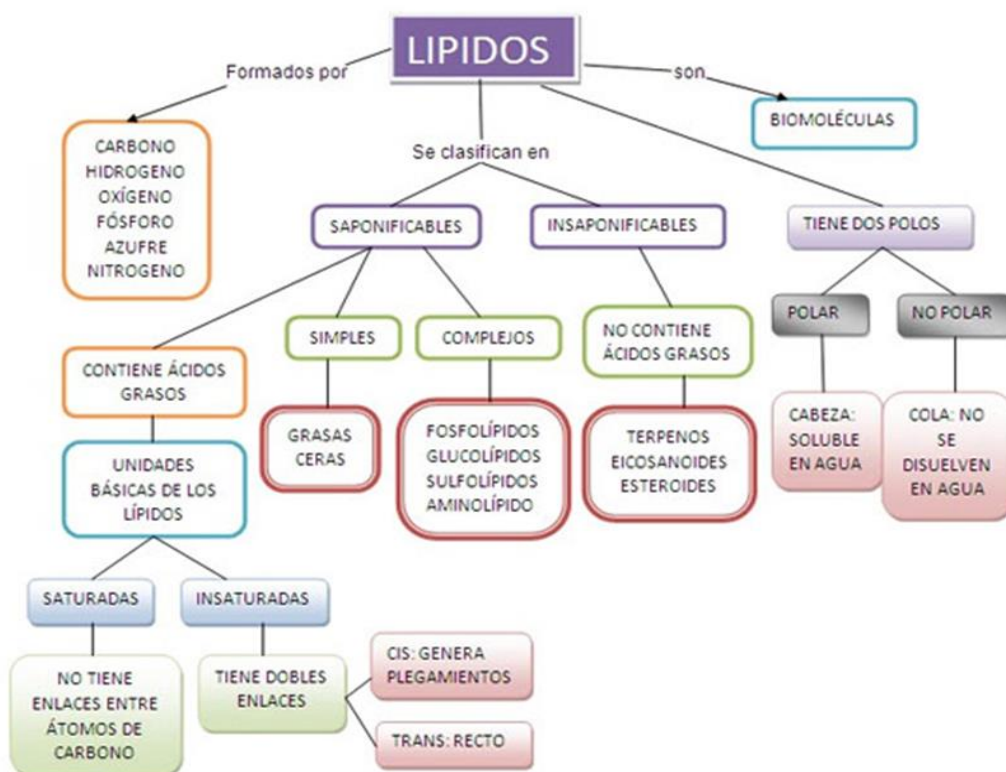
Lípidos



Fuente: Maravilla, 2019.

Los lípidos son un grupo diverso de biomoléculas que cumplen funciones clave en los organismos vivos, como el almacenamiento de energía, la formación de membranas celulares y la regulación hormonal. Su estructura química incluye largas cadenas de hidrocarburos,

generalmente con grupos funcionales hidrofóbicos, lo que los hace insolubles en agua. Los lípidos no tienen una fórmula general fija debido a su diversidad estructural, pero comúnmente están formados por glicerol y ácidos grasos unidos mediante enlaces éster.



Fuente: Elaboración propia.

Estructura y clasificación

Los lípidos pueden clasificarse en varias categorías según su composición y función:

- **Triglicéridos:** Formados por una molécula de glicerol unida a tres ácidos grasos. Son la principal forma de almacenamiento de energía en los organismos. Ejemplos incluyen grasas animales y aceites vegetales, diferenciándose por la saturación de los ácidos grasos: los saturados son sólidos a temperatura ambiente, mientras que los insaturados son líquidos.
- **Fosfolípidos:** Componentes fundamentales de las membranas celulares. Tienen una cabeza hidrofílica (que interactúa con el agua) y dos colas hidrofóbicas, lo que les permite formar bicapas lipídicas.
- **Esteroides:** Incluyen compuestos como el colesterol y hormonas esteroideas (ej., testosterona, estrógenos). Su estructura se basa en un núcleo de cuatro anillos de carbono.
- **Ceras:** Formadas por ácidos grasos unidos a alcoholes de cadena larga. Actúan como agentes impermeabilizantes en plantas y animales.
- **Terpenos y derivados:** Estos incluyen vitaminas liposolubles como la vitamina A y E, esenciales para funciones biológicas como la visión y la protección antioxidante.

Funciones biológicas

Los lípidos son esenciales no solo como reserva energética (aportando 9 kcal/g), sino también para el aislamiento térmico, la protección de órganos internos y como precursores de moléculas bioactivas como las hormonas y las prostaglandinas. Además, las membranas celulares, formadas principalmente por fosfolípidos, son cruciales para la compartimentación celular y la comunicación intracelular.

Proteínas



Fuente: Diario El Espectador, 2024.

Las proteínas son polímeros de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. Son las biomoléculas más diversas en términos de función, actuando como enzimas, transportadores, señales químicas, componentes estructurales y defensores inmunitarios. Su estructura determina su función, organizada en niveles que van desde la primaria (secuencia de

aminoácidos) hasta la cuaternaria (asociación de varias cadenas polipeptídicas). Las proteínas también son esenciales para procesos como la contracción muscular y la transmisión de señales nerviosas (UNAM, 2012; LibreTexts, 2023).

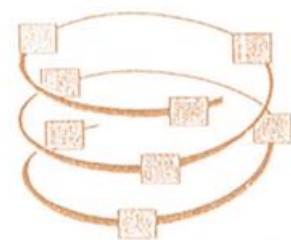
Estructura de las proteínas

Las proteínas tienen cuatro niveles estructurales:



- Estructura primaria: La secuencia lineal de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos.

- Estructura secundaria: Disposición espacial de segmentos de la cadena polipeptídica, como las hélices α y hojas plegadas β , estabilizadas por puentes de hidrógeno entre los grupos carbonilo y amino.

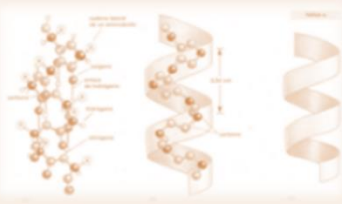
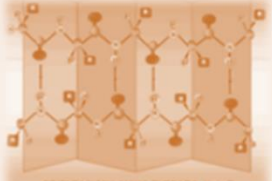
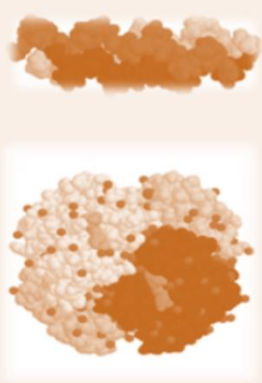
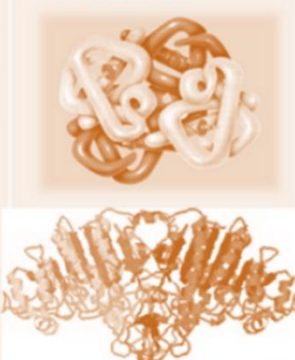


- Estructura terciaria: Plegamiento tridimensional de la proteína, determinado por interacciones entre las cadenas laterales, como puentes disulfuro, interacciones hidrofóbicas e iónicas.

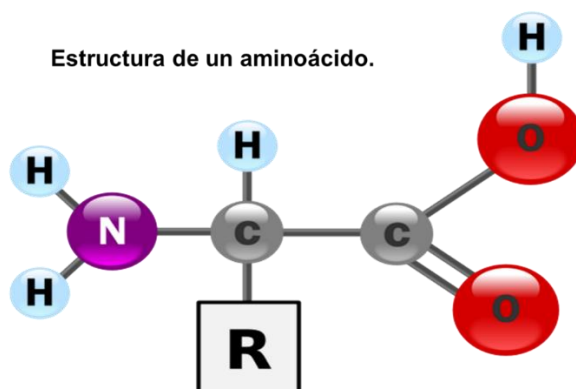
- Estructura cuaternaria: Asociación de múltiples cadenas polipeptídicas en una proteína funcional, como en la hemoglobina



Diferencias

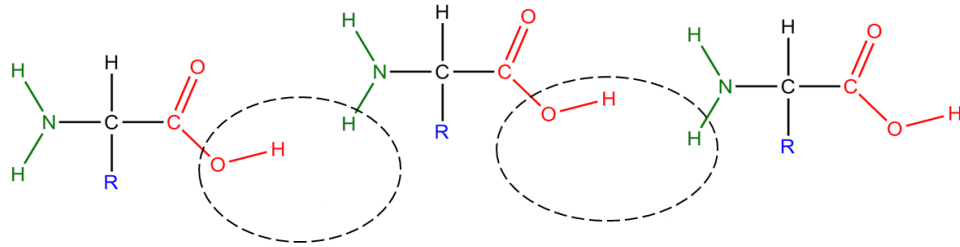
SECUNDARIA	TERCIARIA	CUATERNARIA
➤ Conformación (disposición tridimensional) de porciones de la cadena polipeptídica. ❖ Hélice alfa  ❖ Hoja plegada beta. 	➤ Enlaces covalentes entre las cadenas laterales de la proteína. 	➤ Formada por más de una cadena o subunidad. ➤ Se unen por enlaces disulfuro covalentes o enlaces no covalentes. 

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Quimitube, 2024.

Unión de aminoácido

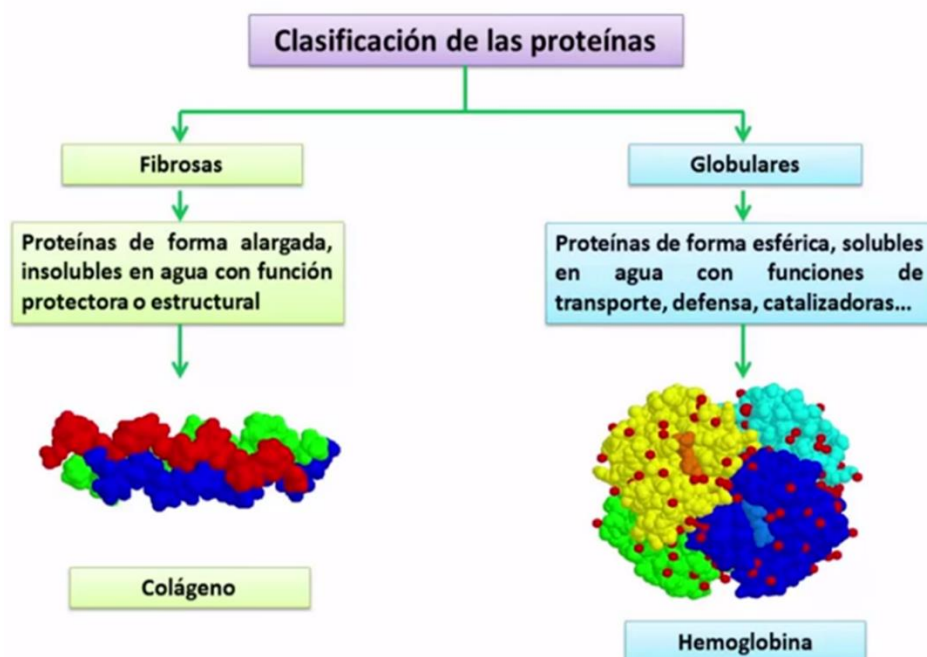


Fuente: Quimitube, 2024.

Clasificación de las proteínas

Las proteínas se clasifican en:

- Proteínas fibrosas: Con estructura alargada y función estructural, como el colágeno.
- Proteínas globulares: Con forma redondeada, solubles y funcionales, como las enzimas. Además, pueden clasificarse según su composición química en simples, compuestas o conjugadas.



Fuente: Elaboración propia.

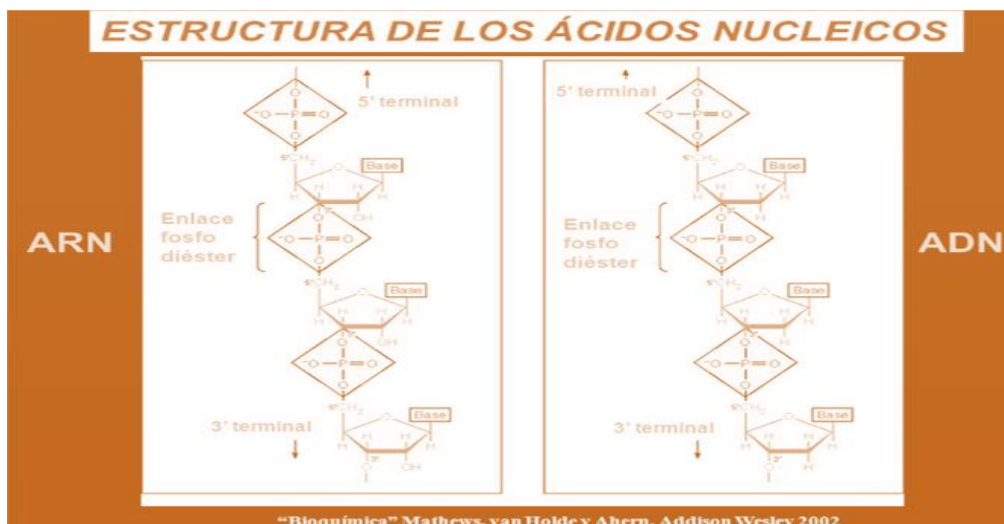
Funciones de las proteínas

Las proteínas cumplen funciones diversas: estructural (queratina), enzimática (amilasa), de transporte (hemoglobina), reguladora (hormonas), y de defensa (anticuerpos). Estas funciones están íntimamente relacionadas con su estructura tridimensional.

Ácidos Nucleicos

Los ácidos nucleicos son biomoléculas esenciales para la vida, ya que almacenan y transmiten la información genética. Están formados por unidades llamadas nucleótidos, que a su vez constan de tres componentes principales: un grupo fosfato, una pentosa (azúcar de cinco carbonos) y una base nitrogenada. Las bases pueden ser púricas (adenina y guanina) o pirimidínicas (citosina, timina en el ADN y uracilo en el ARN). Los nucleótidos se unen mediante enlaces fosfodiéster, formando largas cadenas con una orientación específica, lo que les confiere una polaridad definida.

En cuanto a su estructura, los ácidos nucleicos pueden clasificarse en ADN (ácido desoxirribonucleico) y ARN (ácido ribonucleico). El ADN tiene una estructura de doble hélice compuesta por dos cadenas antiparalelas, mientras que el ARN es una molécula de cadena simple. Las bases nitrogenadas del ADN se aparean de manera complementaria: adenina con timina, y guanina con citosina, mientras que en el ARN, la adenina se aparea con el uracilo en lugar de la timina. Estas interacciones son fundamentales para la replicación y transcripción de la información genética.



Funcionalmente, el ADN almacena la información genética necesaria para la síntesis de proteínas y la regulación de los procesos celulares, mientras que el ARN juega roles variados en la traducción de esta información y la síntesis de proteínas. Existen tres tipos principales de ARN: mensajero (ARNm), ribosomal (ARNr) y de transferencia (ARNt), cada uno con funciones específicas en la maquinaria genética celular.

Estas biomoléculas tienen una función crítica no solo en la herencia, sino también en procesos biológicos como la regulación de genes y la producción de energía celular a través de compuestos como el ATP (trifosfato de adenosina), que es un nucleótido derivado de los ácidos nucleicos. Su estabilidad estructural y capacidad para almacenar información las convierten en pilares de la biología molecular y genética moderna (Portal Académico del CCH, n.d.; Bionova, n.d.; URJC, n.d.).

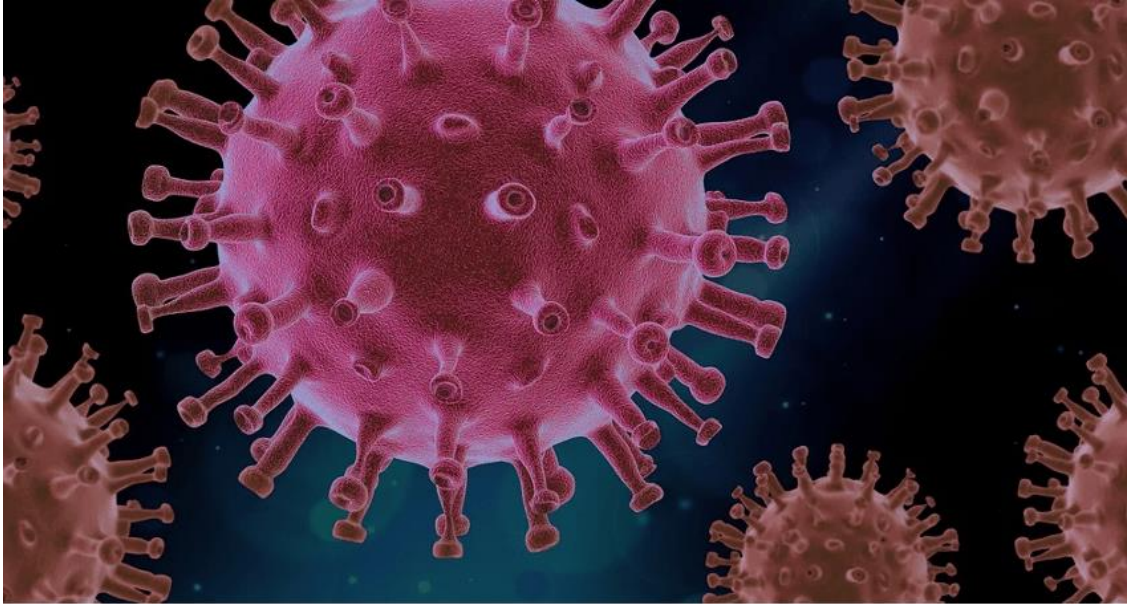


UNIDAD II

Virus y Bacterias.

UNIDAD II

VIRUS Y BACTERIAS



Fuente: Manufacturing, 2021.

Los virus son entidades microscópicas que han desempeñado un papel crucial en la historia de la humanidad, tanto por su impacto en la salud pública como por su influencia en el desarrollo científico. A pesar de no ser considerados seres vivos en el sentido convencional, los virus son agentes infecciosos con la capacidad de replicarse solo dentro de las células de un huésped. Este análisis interpretativo aborda los aspectos fundamentales de los virus, incluyendo su definición, origen, y la historia de los descubrimientos relacionados con ellos, desde el año 2000 A.C. hasta 1959. Se explorará también la viruela, una de las enfermedades virales más devastadoras, y los avances en la comprensión de los virus a lo largo de los siglos, resaltando hitos significativos en la investigación virológica.

Qué es un Virus

Un virus es una partícula submicroscópica que consta de material genético, ya sea ADN o ARN, rodeado por una capa de proteínas, y en algunos casos, una

envoltura lipídica. A diferencia de las bacterias y otros microorganismos, los virus no tienen una estructura celular ni metabolismo propio, lo que les impide replicarse de manera autónoma. Su existencia depende completamente de infectar una célula huésped, utilizando su maquinaria para producir copias de sí mismos. Esta dependencia ha llevado a que los virus sean considerados parásitos intracelulares obligados (Rybicki, 1990).

El debate sobre si los virus son formas de vida persiste en la comunidad científica. Algunos investigadores los clasifican como una forma de vida extremadamente simplificada, mientras que otros los ven como entidades biológicas que se sitúan en la frontera entre lo vivo y lo no vivo. Esta ambigüedad en su clasificación ha fomentado numerosas investigaciones sobre la naturaleza y el origen de los virus.

Origen de los Virus

El origen de los virus es un tema complejo y aún en gran parte especulativo. Existen varias teorías que intentan explicar cómo surgieron. La hipótesis del escape, también conocida como teoría de la "evasión", sugiere que los virus podrían haber evolucionado a partir de fragmentos de material genético que escaparon de las células. Estos fragmentos, originalmente partes del ADN o ARN celular, adquirieron la capacidad de viajar entre células, convirtiéndose eventualmente en virus autónomos (Forterre, 2006).

Otra teoría es la hipótesis del origen celular, que propone que los virus podrían haber surgido de organismos celulares que, con el tiempo, se simplificaron hasta perder su capacidad de vida independiente, reteniendo únicamente los elementos necesarios para la infección y replicación en células huésped (Koonin et al., 2006). Finalmente, la hipótesis de la coevolución sugiere que los virus y las células podrían haber evolucionado simultáneamente a partir de una forma de vida primordial compartida. Esta teoría implica que los virus han existido desde el origen de la vida misma, evolucionando en paralelo con sus hospedadores.

La Viruela: Una de las Enfermedades Virales Más Devastadoras

La viruela es una enfermedad viral aguda causada por el virus Variola, caracterizada por fiebre alta, fatiga y la aparición de erupciones cutáneas que se convierten en pústulas. Es una de las enfermedades más antiguas que ha afectado a la humanidad, y su impacto ha sido devastador a lo largo de la historia. Las primeras evidencias de la viruela se remontan al antiguo Egipto, donde se han encontrado momias con cicatrices características de la enfermedad (Fenner et al., 1988).

La viruela fue responsable de numerosas pandemias en todo el mundo, y su alta tasa de mortalidad y la desfiguración que causaba en los sobrevivientes la convirtieron en una de las enfermedades más temidas. A lo largo de los siglos, diversas culturas intentaron desarrollar métodos para prevenirla, siendo uno de los más antiguos la variolización, una técnica desarrollada en Asia que implicaba la inoculación de material tomado de una persona infectada a una persona sana, con la esperanza de inducir una forma leve de la enfermedad y generar inmunidad.

El desarrollo de la primera vacuna por Edward Jenner en 1796, basada en el virus Vaccinia, que causa la viruela bovina, marcó un hito en la lucha contra la viruela. La vacunación se extendió rápidamente por todo el mundo, y en 1980, la Organización Mundial de la Salud declaró oficialmente erradicada la viruela, lo que constituye uno de los mayores logros en la historia de la medicina (World Health Organization, 1980).

Historia de los Virus: 2000 A.C. a 1959

2000 A.C.: Vacunación contra la Viruela en China

La historia de la vacunación contra la viruela en China se remonta a alrededor del 2000 A.C., donde se utilizaba la técnica de la variolización. Este método consistía en inhalar polvo hecho de costras de viruela secas o insertar el material infectado en pequeñas incisiones en la piel. A pesar de ser arriesgado y no siempre efectivo, la variolización redujo la mortalidad y fue uno de los primeros intentos documentados de inmunización (Needham, 1980).

Siglo I D.C.: Celso y el Tratamiento Intuitivo de la Rabia

Celso, un médico romano del siglo I D.C., describió uno de los primeros tratamientos conocidos para la rabia, una enfermedad viral transmitida por mordeduras de animales. Aunque el conocimiento de los virus era inexistente en esa época, Celso recomendó cauterizar las heridas causadas por animales rabiosos, un enfoque que, si bien rudimentario, muestra un temprano esfuerzo por tratar enfermedades virales (Nutton, 2004).

1892: Iwanowsky y el Descubrimiento del Virus del Mosaico del Tabaco

El descubrimiento del virus del mosaico del tabaco por Dmitri Iwanowsky en 1892 marcó el inicio de la virología moderna. Iwanowsky demostró que el agente causante de la enfermedad del mosaico del tabaco era más pequeño que las bacterias y podía pasar a través de filtros que atrapaban bacterias. Aunque no identificó al virus como tal, su trabajo abrió el camino para el descubrimiento de otras enfermedades virales (Iwanowsky, 1892).

1898: Foffler y Frosch y el Virus de la Fiebre Aftosa

En 1898, Friedrich Loeffler y Paul Frosch descubrieron que el agente causante de la fiebre aftosa, una enfermedad que afecta al ganado, también pasaba a través de filtros bacterianos. Este descubrimiento confirmó la existencia de agentes patógenos más pequeños que las bacterias y reforzó la idea de que existían entidades infecciosas que no podían ser vistas con los métodos de la época (Loeffler & Frosch, 1898).

1901: Reed y Carroll y el Virus de la Fiebre Amarilla

El descubrimiento del virus de la fiebre amarilla en 1901 por Walter Reed y James Carroll fue un avance significativo en la comprensión de la transmisión de enfermedades virales. Ellos demostraron que la fiebre amarilla era causada por un virus transmitido por mosquitos, lo que llevó a una mayor comprensión de la epidemiología de las enfermedades virales y al desarrollo de medidas de control más efectivas (Reed, Carroll, & Agramonte, 1901).

1904: Borrel y el Virus de la Rabia

En 1904, Amédée Borrel contribuyó al estudio de la rabia, una de las enfermedades virales más antiguas conocidas. Borrel identificó los cuerpos de

inclusión en las células nerviosas infectadas con el virus de la rabia, lo que ayudó a avanzar en la comprensión de la patología de la enfermedad (Borrel, 1904).

1915: Twort y el Descubrimiento de los Bacteriófagos

Frederick Twort descubrió en 1915 lo que más tarde se conocería como bacteriófagos, virus que infectan bacterias. Su descubrimiento fue fundamental para la comprensión de los virus y su interacción con otros organismos, aunque en ese momento, la naturaleza de los bacteriófagos no se comprendía completamente (Twort, 1915).

1917: D'Herelle y la Confirmación de los Bacteriófagos

El microbiólogo francés Félix d'Hérelle confirmó de manera independiente el descubrimiento de los bacteriófagos en 1917 y fue el primero en utilizar el término "bacteriófago" para describir a estos virus. Su trabajo sentó las bases para la terapia con fagos, que utiliza estos virus para tratar infecciones bacterianas (d'Hérelle, 1917).

1925: Parker y Nye y la Propagación de Virus en Cultivos Celulares

En 1925, Parker y Nye lograron propagar virus en cultivos celulares, lo que representó un avance significativo en la investigación virológica. Esto permitió a los científicos estudiar los virus de manera más detallada y desarrollar vacunas más efectivas (Parker & Nye, 1925).

1931: Woodruff y Goodpasture y la Propagación de Virus en Huevos de Pollo

Ernest Woodruff y Ernest Goodpasture lograron en 1931 propagar el virus de la influenza en huevos de pollo embrionados, un avance que revolucionó la producción de vacunas. Esta técnica se sigue utilizando en la actualidad para la fabricación de vacunas contra la influenza (Goodpasture & Woodruff, 1931).

1933: Elford y la Medición del Tamaño de los Virus

En 1933, William Elford fue el primero en medir el tamaño de los virus utilizando filtros ultrafinos. Sus investigaciones permitieron determinar que los virus eran

mucho más pequeños que las bacterias, lo que ayudó a diferenciar claramente estos dos tipos de agentes infecciosos (Elford, 1933).

1935: Stanley y la Cristalización del Virus del Mosaico del Tabaco

El trabajo de Wendell Stanley en 1935 sobre la cristalización del virus del mosaico del tabaco proporcionó una comprensión fundamental de la naturaleza física y química de los virus. Al cristalizar el virus, Stanley demostró que estaba compuesto principalmente de proteínas, lo que lo llevó a ser galardonado con el Premio Nobel en 1946 (Stanley, 1935).

1941: Hirst y la Hemaglutinación

En 1941, George Hirst descubrió que algunos virus, como el virus de la influenza, podían causar la aglutinación de glóbulos rojos, un fenómeno conocido como hemaglutinación. Este descubrimiento fue fundamental para el desarrollo de pruebas diagnósticas para detectar virus en muestras clínicas (Hirst, 1941).

1949: Enders y el Cultivo del Virus de la Poliomielitis

En 1949, John Enders y su equipo lograron cultivar el virus de la poliomielitis en células humanas, lo que fue un avance crucial para el desarrollo de la vacuna contra la poliomielitis. Este logro le valió el Premio Nobel en 1954 y marcó el inicio de la era moderna de la virología (Enders, Weller, & Robbins, 1949).

1952: Dulbecco y Vogt y la Plaque Assay

En 1952, Renato Dulbecco y Marguerite Vogt desarrollaron la técnica de "plaque assay", que permitió cuantificar virus en cultivos celulares. Este método fue esencial para la investigación virológica y sigue siendo una herramienta básica en laboratorios de todo el mundo (Dulbecco & Vogt, 1952).

1959: Luria y el Ciclo de Vida de los Virus

Finalmente, en 1959, Salvador Luria, junto con otros científicos, contribuyó significativamente al entendimiento del ciclo de vida de los virus y su interacción con las células huésped. Su trabajo sentó las bases para el desarrollo de nuevas estrategias antivirales y profundizó en la comprensión de la biología de los virus (Luria & Darnell, 1962).

El estudio de los virus ha evolucionado enormemente desde los primeros intentos de combatir la viruela hasta los avances más sofisticados en la comprensión de su estructura y comportamiento. A lo largo de los siglos, los descubrimientos clave han transformado nuestra comprensión de estos agentes infecciosos, permitiendo el desarrollo de vacunas y tratamientos que han salvado millones de vidas. A medida que la investigación en virología avanza, es probable que continuemos desentrañando los misterios de los virus y desarrollando nuevas estrategias para controlar las enfermedades virales en el futuro.

TEORÍAS DEL VIRUS

Los virus son entidades biológicas fascinantes y complejas que han desafiado la comprensión científica desde su descubrimiento. Su naturaleza única, que los sitúa en la frontera entre lo vivo y lo no vivo, ha dado lugar a numerosas teorías sobre su origen y evolución. A lo largo del tiempo, se han propuesto diversas hipótesis para explicar cómo surgieron los virus y cómo han coevolucionado con los organismos que infectan. Entre las teorías más destacadas se encuentran la teoría regresiva o teoría de la degeneración, la teoría del origen celular y la teoría de la coevolución. Cada una de estas teorías ofrece una perspectiva distinta sobre la historia evolutiva de los virus, y juntas forman un marco para entender mejor estas enigmáticas entidades.

Teoría del Virus: Una Visión General

La teoría del virus abarca varias hipótesis que intentan explicar el origen y la naturaleza de los virus. Aunque los virus se caracterizan por ser parásitos intracelulares obligados, no están vivos en el sentido convencional porque no pueden replicarse sin un huésped. No obstante, poseen material genético y evolucionan a través de la selección natural, características típicas de los seres vivos. Esta dualidad ha llevado a debates sobre su clasificación y origen. Las principales teorías que intentan explicar el origen de los virus incluyen la teoría regresiva o de la degeneración, la teoría del origen celular, y la teoría de la coevolución. Estas teorías no son mutuamente excluyentes y pueden representar diferentes vías evolutivas seguidas por diversos grupos de virus.

Teoría Regresiva o Teoría de la Degeneración

La teoría regresiva, también conocida como la teoría de la degeneración, propone que los virus podrían haber evolucionado a partir de organismos celulares más complejos que, con el tiempo, perdieron la capacidad de vivir de forma independiente. Según esta teoría, los virus son descendientes de organismos que originalmente eran parásitos intracelulares, como las bacterias, que con el tiempo simplificaron su estructura y funciones, perdiendo su maquinaria celular compleja y conservando únicamente los elementos

esenciales para invadir y replicarse dentro de una célula huésped (Forterre, 2006).

Un ejemplo que apoya esta teoría es el caso de las bacterias parásitas intracelulares como *Rickettsia* y *Chlamydia*, que tienen un genoma reducido y dependen en gran medida de su huésped para sobrevivir y reproducirse. Según esta teoría, los virus podrían representar un estadio más extremo de esta adaptación regresiva, en la que las capacidades metabólicas y estructurales se redujeron aún más, hasta llegar a la forma viral que conocemos hoy. Esta teoría sugiere que los virus evolucionaron a partir de organismos que ya tenían una vida parasitaria y, por tanto, refleja un proceso de simplificación evolutiva en lugar de una emergencia de características nuevas.

Sin embargo, la teoría regresiva enfrenta ciertos desafíos. Uno de los principales es la falta de evidencia de organismos intermedios entre los virus y las bacterias u otros microorganismos. Además, la enorme diversidad de los virus en términos de estructura y material genético sugiere que podrían haber surgido de múltiples formas, lo que hace difícil que una sola teoría explique todos los casos. A pesar de estas limitaciones, la teoría regresiva sigue siendo una explicación plausible para el origen de algunos grupos de virus, especialmente aquellos con genomas grandes y complejos, como los virus gigantes del género *Mimivirus* (Claverie, 2006).

Teoría del Origen Celular

La teoría del origen celular, también conocida como la hipótesis de la escape, propone que los virus se originaron a partir de fragmentos de material genético celular que escaparon de las células. Estos fragmentos, que podrían haber sido plásmidos o transposones, adquirieron la capacidad de moverse entre células y, con el tiempo, evolucionaron para volverse dependientes de la maquinaria celular de un huésped para replicarse. Esta teoría sugiere que los virus no son descendientes directos de organismos celulares completos, sino de componentes celulares que se independizaron (Koonin et al., 2006).

Los plásmidos, que son pequeñas moléculas de ADN que pueden replicarse independientemente del ADN cromosómico, y los transposones, que son

secuencias de ADN capaces de moverse dentro del genoma, se consideran posibles precursores de los virus. La teoría del origen celular es apoyada por la similitud que algunos virus tienen con plásmidos y otros elementos genéticos móviles, particularmente en términos de secuencias de ADN y mecanismos de replicación. Por ejemplo, algunos virus de ADN, como los adenovirus, tienen características estructurales y funcionales que sugieren un origen a partir de elementos genéticos móviles.

Una de las principales ventajas de esta teoría es que puede explicar la gran diversidad de virus existentes, ya que diferentes virus podrían haber surgido de diferentes tipos de material genético escapado. Además, esta teoría está en línea con el concepto de que la transferencia horizontal de genes es un proceso común en la evolución, y los virus podrían ser un resultado extremo de este proceso.

No obstante, la teoría del origen celular también tiene sus limitaciones. Por ejemplo, aunque explica cómo podrían haber surgido los virus de ADN, es menos clara en cuanto al origen de los virus de ARN, que son más primitivos y estructuralmente diferentes de cualquier elemento genético conocido. A pesar de esto, la teoría del origen celular es ampliamente aceptada en la comunidad científica como una de las principales explicaciones para el origen de los virus, especialmente en combinación con otras teorías que pueden explicar diferentes aspectos de la evolución viral (Koonin & Martin, 2005).

Teoría de la Coevolución

La teoría de la coevolución, también conocida como la hipótesis del virus primero, sugiere que los virus podrían haber existido antes que las células, coevolucionando con ellas desde los inicios de la vida en la Tierra. Según esta teoría, los virus y las células comparten un ancestro común en el caldo primitivo, una forma de vida precursora que contenía elementos genéticos que eventualmente dieron lugar tanto a células como a virus. Esta teoría propone que los virus podrían ser descendientes directos de estas primeras moléculas autoreplicantes, y que han coevolucionado con las células desde entonces (Banda, 1983).

La teoría de la coevolución sugiere que los virus han jugado un papel crucial en la evolución de la vida celular, actuando como agentes de transferencia horizontal de genes y como fuerzas selectivas que han moldeado la evolución de las células. Los virus, al infectar organismos, pueden transferir material genético de un huésped a otro, facilitando la diversidad genética y la evolución. Además, las presiones selectivas ejercidas por las infecciones virales podrían haber influido en la evolución de mecanismos celulares de defensa, como el sistema inmunológico en animales y el sistema CRISPR en bacterias.

Uno de los puntos fuertes de esta teoría es que explica la coexistencia y la interdependencia de los virus y las células desde los primeros tiempos de la vida. Además, es compatible con la idea de que los virus han contribuido a la evolución de la diversidad genética y a la innovación evolutiva. Los virus podrían haber actuado como vehículos para la transferencia horizontal de genes, promoviendo la aparición de nuevas funciones y estructuras en los organismos celulares (Forte, 2010).

Sin embargo, la teoría de la coevolución también enfrenta desafíos. Por ejemplo, no explica claramente cómo los virus podrían haber surgido antes que las células, dado que los virus dependen de las células para su replicación. Además, la falta de evidencia fósil de virus antiguos limita la capacidad de probar esta teoría. A pesar de estos desafíos, la teoría de la coevolución es una hipótesis poderosa que destaca el papel de los virus en la historia evolutiva de la vida en la Tierra y sugiere que la evolución de los virus y de las células está intrínsecamente entrelazada.

COMPARACIÓN DE LAS TEORÍAS

Cada una de estas teorías ofrece una perspectiva diferente sobre el origen y la evolución de los virus, y ninguna de ellas es capaz de explicar completamente la complejidad y diversidad de los virus existentes. La teoría regresiva sugiere una simplificación a partir de organismos más complejos, mientras que la teoría del origen celular sugiere una evolución a partir de fragmentos de material genético escapado. La teoría de la coevolución, por otro lado, propone una historia evolutiva compartida y simultánea entre virus y células desde los primeros tiempos de la vida.

Es posible que ninguna de estas teorías sea completamente correcta por sí sola, sino que los virus podrían haber surgido de múltiples maneras en diferentes momentos y contextos evolutivos. Por ejemplo, los virus gigantes, como los *Mimivirus*, podrían ser descendientes de organismos celulares que simplificaron su estructura, mientras que otros virus podrían haber surgido de fragmentos de ADN o ARN escapado. Asimismo, algunos virus podrían haber coevolucionado con sus huéspedes desde el inicio de la vida en la Tierra, mientras que otros podrían haberse originado mucho más tarde en la historia evolutiva (Raoult & Forterre, 2008).

La evidencia actual sugiere que los virus han existido desde tiempos muy antiguos y que han influido en la evolución de las células de diversas maneras. A través de la transferencia horizontal de genes y la selección natural, los virus han promovido la diversidad genética y han contribuido a la innovación evolutiva en todos los dominios de la vida. Como tal, los virus no solo son parásitos intracelulares, sino también actores importantes en la historia evolutiva de la vida en la Tierra.

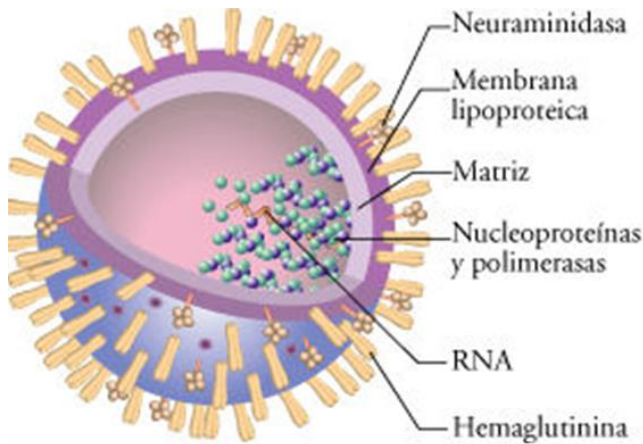
El origen y la evolución de los virus es un tema complejo que ha sido objeto de debate y especulación científica durante décadas. Las teorías regresivas, del origen celular y de la coevolución ofrecen diferentes perspectivas sobre cómo podrían haber surgido los virus y cómo han evolucionado a lo largo del tiempo.

Aunque ninguna de estas teorías es completamente concluyente, todas ellas contribuyen a nuestra comprensión de la naturaleza y el origen de los virus.

La teoría regresiva sugiere una simplificación evolutiva a partir de organismos celulares más complejos, mientras que la teoría del origen celular propone que los virus surgieron de elementos genéticos móviles que escaparon de las células. La teoría de la coevolución, por otro lado, sugiere que los virus y las células han coevolucionado desde los inicios de la vida en la Tierra, compartiendo un ancestro común. Cada una de estas teorías tiene sus puntos fuertes y débiles, y es probable que ninguna de ellas explique por completo el origen de todos los virus.

En última instancia, los virus representan una frontera fascinante entre lo vivo y lo no vivo, y su estudio continúa desafiando y expandiendo nuestra comprensión de la biología. A medida que avanzan las investigaciones en virología, es probable que surjan nuevas teorías y descubrimientos que arrojen luz sobre el misterioso origen de estos agentes infecciosos y su papel en la evolución de la vida en la Tierra.

ESTRUCTURA DE UN VIRUS



Fuente: Curtis H., (1996)

La estructura de un virus es un aspecto crucial para entender cómo estos agentes infectan a sus huéspedes y se replican. Un virus es esencialmente una entidad compuesta por material genético encapsulado dentro de una estructura proteica, y en algunos casos, rodeado por una

envoltura lipídica. La unidad básica de un virus es la partícula viral o virión, que consta de tres componentes principales: el genoma viral, la cápside, y en algunos casos, una envoltura lipídica.

El genoma viral, que puede ser de ADN o ARN, contiene la información genética necesaria para la replicación del virus dentro de la célula huésped. Este material genético puede ser de cadena simple o doble, lineal o circular, y puede variar significativamente en tamaño entre diferentes tipos de virus (Knipe & Howley, 2013). La cápside es una estructura proteica que rodea y protege el genoma viral. Está formada por subunidades proteicas llamadas capsómeros, que se ensamblan de manera específica para formar la cápside. La simetría de la cápside puede ser icosaédrica, helicoidal, o compleja, dependiendo del tipo de virus.

En algunos virus, la cápside está rodeada por una envoltura lipídica derivada de la membrana de la célula huésped durante el proceso de gemación. Esta envoltura contiene glicoproteínas virales que son cruciales para el reconocimiento y la entrada del virus en nuevas células huéspedes. Las proteínas de la envoltura desempeñan un papel vital en la fusión de la membrana viral con la membrana de la célula huésped, facilitando así la entrada del genoma viral en la célula (Flint et al., 2015). La estructura de un virus, por tanto, es clave para su capacidad de infectar, replicarse, y causar enfermedades.

Clasificación de los virus según la naturaleza de su genoma (ARN/ADN)

La clasificación de los virus según la naturaleza de su genoma es uno de los métodos más fundamentales para categorizar estos agentes. Los virus pueden contener ADN o ARN como su material genético, y esta característica básica los divide en dos grandes grupos: virus de ADN y virus de ARN.

Los virus de ADN pueden tener ADN de cadena simple (ssDNA) o ADN de cadena doble (dsDNA). Ejemplos de virus de ADN de cadena doble incluyen el virus del herpes (Herpesviridae) y el virus de la viruela (Poxviridae), que tienen genomas grandes y complejos que codifican para numerosas proteínas (Roizman et al., 2007). Estos virus suelen replicarse en el núcleo de la célula huésped, utilizando la maquinaria de replicación del ADN del huésped.

Por otro lado, los virus de ARN pueden tener ARN de cadena simple (ssRNA) o ARN de cadena doble (dsRNA). Además, los virus de ARN de cadena simple pueden clasificarse en virus de sentido positivo (+ssRNA), como el virus de la poliomielitis (Picornaviridae), o virus de sentido negativo (-ssRNA), como el virus de la gripe (Orthomyxoviridae) (Fields et al., 2007). Los virus de ARN de sentido positivo actúan directamente como ARN mensajero en la célula huésped, mientras que los virus de ARN de sentido negativo deben transcribirse a ARN mensajero antes de ser traducidos.

Además de estas categorías, existen virus como los retrovirus (Retroviridae), que poseen un genoma de ARN pero se replican a través de un intermediario de ADN utilizando la enzima transcriptasa inversa. Este grupo incluye virus como el VIH, que es responsable del SIDA. La naturaleza del genoma viral determina no solo el ciclo de replicación del virus, sino también sus interacciones con la célula huésped y su patogenicidad.

Clasificación de los virus según su morfología

La morfología viral es otro criterio clave para la clasificación de los virus. Los viriones pueden exhibir una variedad de formas que se relacionan con la disposición de su cápside y, en algunos casos, con la presencia de una envoltura lipídica.

Los virus con cápsides icosaédricas tienen una simetría que se asemeja a un icosaedro, una estructura con 20 caras triangulares. Esta forma es altamente eficiente desde el punto de vista estructural y es común en muchos virus de ADN, como los adenovirus, y en algunos virus de ARN, como los picornavirus (Baker et al., 1999). La estructura icosaédrica permite el empaquetamiento denso del material genético viral dentro de un volumen mínimo.

En contraste, los virus con cápsides helicoidales presentan una disposición en espiral del material genético, rodeado por proteínas capsómeras dispuestas de manera helicoidal. Esta morfología es típica de muchos virus de ARN, como el virus de la rabia (Rhabdoviridae) y los virus de la gripe (Orthomyxoviridae) (Burton et al., 2002). La forma helicoidal permite una gran flexibilidad en la longitud del genoma, adaptándose a diferentes tamaños de ARN.

Además, algunos virus tienen morfologías más complejas que no encajan en las categorías de icosaédricos o helicoidales. Un ejemplo son los bacteriófagos, que tienen una cabeza icosaédrica y una cola helicoidal, lo que les permite infectar bacterias de manera eficiente (Fokine & Rossmann, 2014). La morfología de un virus está estrechamente relacionada con su capacidad de interactuar con células huésped y con el entorno extracelular.

Clasificación de los virus según su composición química y modo de replicación

La composición química de un virus, junto con su modo de replicación, son aspectos determinantes para su clasificación. La composición química de un virus incluye no solo su genoma de ADN o ARN, sino también las proteínas de la cápside, las glicoproteínas de la envoltura, y en algunos casos, enzimas como la transcriptasa inversa o la ARN polimerasa dependiente de ARN.

Los virus que contienen ADN como material genético, generalmente, se replican en el núcleo de la célula huésped, utilizando la maquinaria de replicación del ADN del huésped. Sin embargo, algunos virus de ADN, como los poxvirus, se replican en el citoplasma y llevan consigo toda la maquinaria enzimática necesaria para la replicación y transcripción del ADN (Moss, 2007).

Los virus de ARN tienen una diversidad de mecanismos de replicación dependiendo de la naturaleza de su ARN. Los virus de ARN de sentido positivo

pueden actuar directamente como ARN mensajero, mientras que los virus de ARN de sentido negativo requieren una ARN polimerasa dependiente de ARN para sintetizar ARN mensajero (Ahlquist, 2002). Los retrovirus, por otro lado, utilizan la transcriptasa inversa para convertir su ARN en ADN, que luego se integra en el genoma de la célula huésped.

La composición química y el modo de replicación también influyen en la estrategia de supervivencia del virus. Por ejemplo, los virus envueltos suelen ser más susceptibles a los desinfectantes y cambios ambientales debido a la naturaleza frágil de su envoltura lipídica, mientras que los virus no envueltos, como los adenovirus, son más resistentes y pueden sobrevivir en condiciones adversas (Wigginton & Kohn, 2012). Esta clasificación permite a los científicos prever cómo un virus puede comportarse en diferentes entornos y frente a diferentes tratamientos antivirales.

Clasificación de los virus según su nomenclatura

La nomenclatura de los virus es un sistema formalizado que permite identificar y clasificar los virus de manera uniforme. La nomenclatura viral se basa en una combinación de características del virus, incluyendo su tipo de genoma, su estructura, y su modo de replicación, así como la enfermedad que causan, el organismo huésped que infectan, o el lugar donde fueron descubiertos.

Por ejemplo, el virus del herpes simple (HSV) recibe su nombre por la enfermedad que causa (herpes) y se subdivide en HSV-1 y HSV-2, dependiendo del tipo de infección que causan (Roizman et al., 2007). Otro ejemplo es el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), que refleja tanto el organismo huésped (humano) como la enfermedad causada (inmunodeficiencia).

La nomenclatura de los virus también incluye un sistema de clasificación que sigue las reglas establecidas por el Comité Internacional de Taxonomía de Virus (ICTV). Este sistema utiliza un esquema jerárquico similar al de la clasificación de organismos vivos, que incluye órdenes, familias, géneros, y especies. Por ejemplo, el VIH pertenece al orden Ortervirales, familia Retroviridae, género Lentivirus, y especie Virus de la inmunodeficiencia humana (ICTV, 2020). Este

sistema estandarizado facilita la comunicación entre científicos y permite una mejor comprensión de la relación evolutiva entre diferentes virus.

Clasificación de los virus según su taxonomía (ICTV - Baltimore)

La clasificación taxonómica de los virus ha sido formalizada por el Comité Internacional de Taxonomía de Virus (ICTV), que ha desarrollado un sistema jerárquico de clasificación que incluye órdenes, familias, subfamilias, géneros, y especies. Esta clasificación se basa en una combinación de características como la naturaleza del genoma viral, la morfología del virión, y el modo de replicación.

Por otro lado, el sistema de clasificación de Baltimore, propuesto por David Baltimore en 1971, clasifica a los virus en siete grupos principales según su tipo de genoma y su método de replicación (Baltimore, 1971). Estos grupos incluyen:

- Virus de ADN de cadena doble (dsDNA).
- Virus de ADN de cadena simple (ssDNA).
- Virus de ARN de cadena doble (dsRNA).
- Virus de ARN de cadena simple de sentido positivo (+ssRNA).
- Virus de ARN de cadena simple de sentido negativo (-ssRNA).
- Virus con ARN que utiliza la transcriptasa inversa (Retroviridae).
- Virus con ADN que utiliza la transcriptasa inversa (Hepadnaviridae).

El sistema de clasificación de Baltimore es especialmente útil para entender los mecanismos de replicación viral, ya que cada uno de los siete grupos sigue un camino replicativo distinto. Por ejemplo, los virus de ARN de sentido positivo (grupo IV) actúan directamente como ARN mensajero, mientras que los virus de ARN de sentido negativo (grupo V) requieren una ARN polimerasa para sintetizar ARN mensajero a partir de su genoma (Ahlgquist, 2002). Este sistema de clasificación ha sido integrado en la taxonomía oficial del ICTV, proporcionando un marco robusto para la identificación y estudio de virus.



Fuente: Elaboración propia.

En resumen, la estructura y clasificación de los virus es un campo complejo y esencial en la biología. La comprensión de los diversos aspectos, desde su estructura y composición química hasta su nomenclatura y clasificación taxonómica, permite a los científicos abordar de manera más efectiva la investigación viral y el desarrollo de estrategias de prevención y tratamiento. Los avances continuos en la virología dependen de una clasificación precisa y una comprensión detallada de estos agentes, lo que a su vez tiene un impacto significativo en la salud pública y la biotecnología.

Ciclo lítico

El ciclo lítico es uno de los dos ciclos de replicación principales que utilizan los virus para reproducirse dentro de una célula huésped. Este ciclo es característico de los virus que se conocen como virulentos, aquellos que causan la destrucción inmediata de la célula huésped una vez que se han replicado. El ciclo lítico consta de varias etapas que conducen a la producción de nuevas partículas virales, denominadas viriones, que luego son liberadas para infectar otras células.

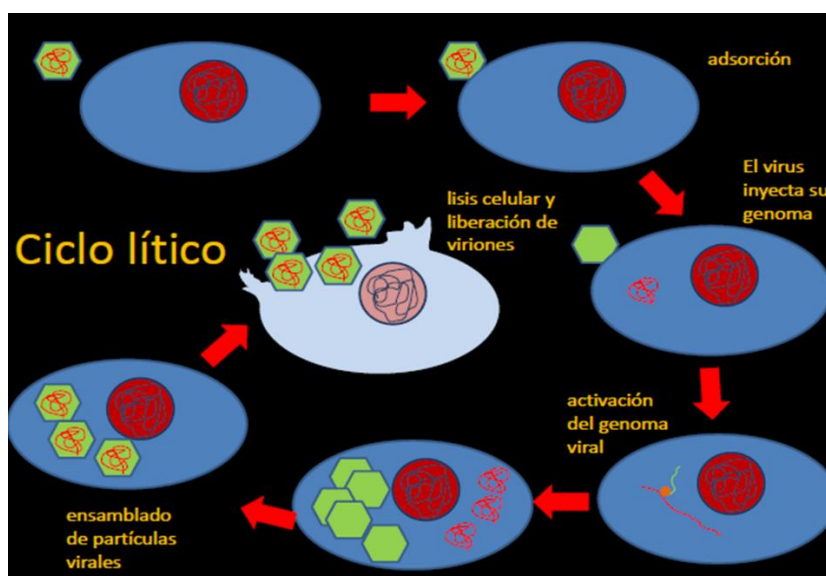
La primera etapa del ciclo lítico es la adsorción, donde el virus se adhiere a la superficie de la célula huésped mediante interacciones específicas entre las proteínas virales y los receptores celulares. Este reconocimiento es crucial para

la especificidad del virus hacia ciertos tipos de células (Flint et al., 2015). Una vez adherido, el virus penetra en la célula, inyectando su material genético o, en algunos casos, todo el virión ingresa por endocitosis o fusión de la membrana.

La siguiente etapa es la replicación del genoma viral. El material genético del virus secuestra la maquinaria biosintética de la célula huésped para replicar su propio genoma y sintetizar proteínas virales. Este proceso suele desactivar o destruir el ADN de la célula huésped, redirigiendo todos los recursos celulares hacia la producción de componentes virales (Knipe & Howley, 2013).

La etapa de ensamblaje sigue a la replicación, donde los nuevos viriones se ensamblan dentro de la célula huésped. Este proceso implica la combinación del genoma viral con las proteínas de la cápside, formando nuevas partículas virales completamente funcionales. La última etapa del ciclo lítico es la liberación de los nuevos viriones, lo que generalmente implica la lisis de la célula huésped. La célula se rompe, liberando una gran cantidad de viriones que pueden infectar células vecinas, reiniciando el ciclo (Wagner & Hewlett, 2014).

El ciclo lítico es responsable de la destrucción celular masiva y la propagación rápida del virus, lo que lleva a infecciones agudas y, en muchos casos, a la muerte del tejido afectado. Ejemplos de virus que utilizan predominantemente el ciclo lítico incluyen los bacteriófagos T4, que infectan bacterias como *Escherichia coli*.



Fuente: Elaboración propia.

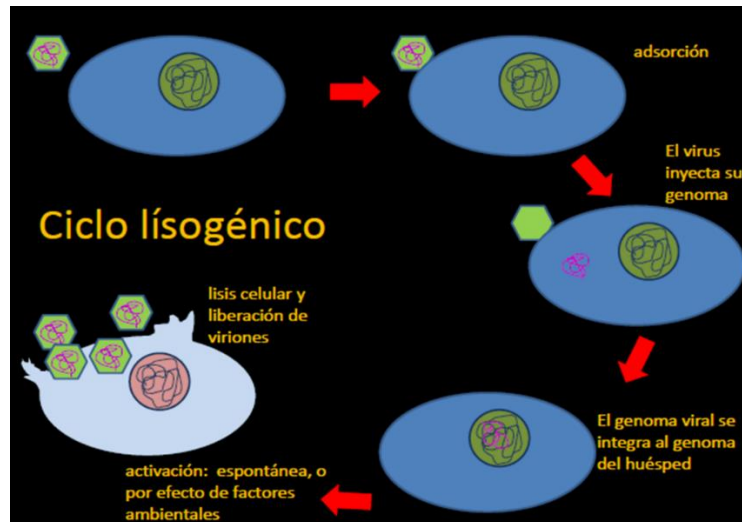
Ciclo lisogénico

El ciclo lisogénico, a diferencia del ciclo lítico, es un proceso de replicación viral en el que el virus incorpora su material genético en el genoma de la célula huésped sin destruirla inmediatamente. Este ciclo es característico de los virus templados, que pueden entrar en un estado de latencia dentro de la célula huésped y replicarse junto con ella durante muchos ciclos celulares sin causar daño aparente.

En el ciclo lisogénico, después de la adsorción y penetración, el material genético del virus se integra en el ADN de la célula huésped. Este ADN viral integrado, conocido como profago en el caso de bacteriófagos o provirus en el caso de retrovirus como el VIH, se replica cada vez que la célula huésped se divide, transmitiendo el ADN viral a las células hijas (Ptashne, 2004). Durante este tiempo, el virus puede permanecer inactivo o latente, sin producir nuevas partículas virales.

El ciclo lisogénico puede durar indefinidamente hasta que ciertas condiciones, como el estrés celular o cambios en el entorno, desencadenen la activación del ciclo lítico. Cuando esto ocurre, el profago se excisa del genoma huésped y el virus entra en el ciclo lítico, comenzando la producción masiva de nuevas partículas virales y, eventualmente, la lisis de la célula huésped (Oppenheim et al., 2005).

El ciclo lisogénico es una estrategia evolutiva que permite al virus persistir en el huésped durante largos periodos, pasando desapercibido por el sistema inmunológico. Este ciclo también puede tener consecuencias graves si el virus transporta genes que alteren la biología de la célula huésped, como es el caso de algunos bacteriófagos que llevan genes de toxinas responsables de enfermedades bacterianas graves.



Fuente: Elaboración propia.

Ébola



Fuente: Reuters, 2014.

El virus del Ébola es un patógeno altamente virulento que pertenece a la familia Filoviridae y es responsable de la enfermedad del virus del Ébola (EVE), una fiebre hemorrágica grave con una alta tasa de mortalidad. Desde su descubrimiento en 1976 en el río Ébola en la República Democrática del Congo, se han identificado varias especies de este virus, incluyendo el

Zaire ebolavirus, que es el más mortífero (Feldmann & Geisbert, 2011).

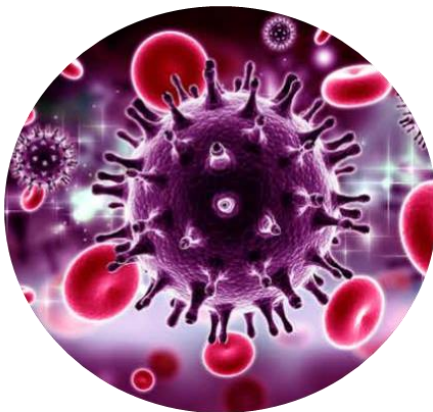
El Ébola se transmite a los humanos a través del contacto directo con la sangre, secreciones, órganos u otros fluidos corporales de animales infectados, como murciélagos frugívoros, que se consideran el reservorio natural del virus. La transmisión entre humanos ocurre principalmente a través del contacto directo con fluidos corporales de personas infectadas o cadáveres, lo que ha causado brotes mortales en comunidades y sistemas de salud, particularmente en África occidental (CDC, 2021).

El virus del Ébola tiene un ciclo de replicación que involucra la entrada del virus en las células del huésped mediante la fusión de la envoltura viral con la

membrana celular. Una vez dentro, el ARN viral es replicado y transcrito en el citoplasma de la célula huésped, produciendo nuevas proteínas virales y genomas que se ensamblan en nuevos viriones. Estos viriones se liberan mediante la gemación de la membrana celular, destruyendo la célula huésped en el proceso (Sullivan et al., 2003).

La enfermedad del Ébola se caracteriza por un inicio súbito de fiebre, debilidad, dolor muscular, dolor de cabeza y dolor de garganta, seguido de vómitos, diarrea, erupción cutánea, disfunción renal y hepática, y, en muchos casos, hemorragias internas y externas graves. La alta mortalidad del Ébola, que puede superar el 50%, se debe en gran parte a la respuesta inmune descontrolada que provoca daño tisular extenso y fallo multiorgánico (Goeijenbier et al., 2014).

Aunque no existe un tratamiento antiviral específico aprobado para el Ébola, la atención médica de apoyo y la intervención temprana son cruciales para aumentar la probabilidad de supervivencia. En los últimos años, se han desarrollado vacunas que han mostrado eficacia en la prevención de la infección, lo que representa un avance significativo en la lucha contra este virus mortal (Henao-Restrepo et al., 2016).



Fuente: MedlinePlus, 2024.

VIH

El Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH) es un retrovirus que causa el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA), una enfermedad crónica y potencialmente mortal caracterizada por la destrucción progresiva del sistema inmunológico. El VIH se descubrió por primera vez en la década de 1980, y desde entonces ha sido responsable de una pandemia global que ha afectado a millones de personas en todo el mundo (UNAIDS, 2020).

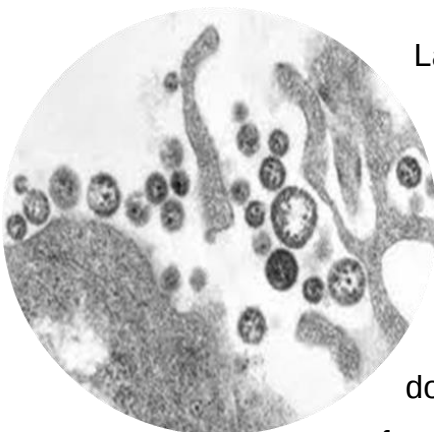
El VIH se transmite principalmente a través del contacto sexual, la exposición a sangre infectada y de madre a hijo durante el parto o la lactancia. Una vez que el virus ingresa al cuerpo, infecta principalmente a las células T CD4+, que son cruciales para la función del sistema inmunológico. El VIH utiliza su enzima

transcriptasa inversa para convertir su ARN en ADN, que luego se integra en el genoma de la célula huésped, convirtiéndose en un provirus (Barre-Sinoussi et al., 1983).

Este provirus puede permanecer latente durante largos períodos, pero eventualmente, el virus se activa, utilizando la maquinaria celular para producir nuevas partículas virales. A medida que las células T CD4⁺ se destruyen, el sistema inmunológico se debilita, lo que lleva a un aumento de la susceptibilidad a infecciones oportunistas y cánceres, que son las principales causas de muerte en personas con SIDA (Levy, 2007).

El tratamiento del VIH ha avanzado significativamente con el desarrollo de la terapia antirretroviral (TAR), que puede suprimir la replicación del virus y permitir que las personas con VIH vivan vidas más largas y saludables. Sin embargo, no existe una cura, y el tratamiento debe continuarse de por vida para mantener el virus bajo control. La prevención mediante el uso de preservativos, pruebas regulares y educación sobre el VIH sigue siendo fundamental en la lucha contra la propagación de este virus (UNAIDS, 2020).

Fiebre de Lassa



Fuente: Casals, 2024.

La fiebre de Lassa es una enfermedad hemorrágica viral aguda causada por el virus de Lassa, un miembro de la familia Arenaviridae. Identificada por primera vez en la ciudad de Lassa en Nigeria en 1969, la fiebre de Lassa es endémica en varios países de África Occidental, donde los brotes ocurren con regularidad, afectando a decenas de miles de personas anualmente (McCormick et al., 1987).

El virus de Lassa se transmite a los humanos principalmente a través del contacto con alimentos o artículos domésticos contaminados con orina o heces de roedores infectados, específicamente el *Mastomys natalensis*, que es el reservorio natural del virus. La transmisión entre humanos también es posible,

particularmente en entornos de atención médica con prácticas de control de infecciones deficientes (Richmond & Baglole, 2003).

El ciclo de replicación del virus de Lassa es similar al de otros arenavirus, con el virus entrando en la célula huésped y utilizando la maquinaria celular para replicar su ARN y sintetizar nuevas proteínas virales. Los nuevos viriones se ensamblan y liberan, destruyendo la célula huésped y propagando la infección (Bowen et al., 1997).

Los síntomas de la fiebre de Lassa varían desde leves, como fiebre y malestar general, hasta graves, con hemorragias, shock y fallo multiorgánico. Aproximadamente el 20% de las infecciones resultan en enfermedad grave, y la tasa de mortalidad en estos casos puede ser alta, especialmente entre las mujeres embarazadas y sus fetos (McCormick et al., 1987).

El tratamiento de la fiebre de Lassa incluye la administración temprana del antiviral ribavirina, que puede reducir la mortalidad si se administra en los primeros días de la enfermedad. Sin embargo, la prevención mediante el control de la población de roedores y la mejora de las prácticas de control de infecciones en los hospitales es crucial para reducir la incidencia de esta enfermedad (Richmond & Baglole, 2003).

Virus de Marburgo



Fuente: Felix Omondi, 2014.

El virus de Marburgo es un filovirus estrechamente relacionado con el virus del Ébola y es el agente causante de la fiebre hemorrágica de Marburgo, una enfermedad grave con una alta tasa de mortalidad. El primer brote de fiebre hemorrágica de Marburgo se documentó en 1967 en Marburgo, Alemania, cuando trabajadores de laboratorio estuvieron expuestos a

monos verdes africanos infectados (Siegert et al., 1967).

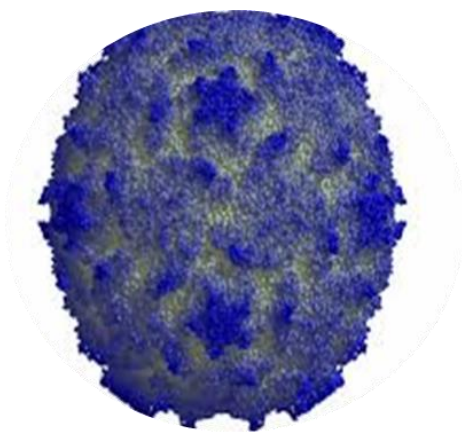
Al igual que el virus del Ébola, el virus de Marburgo se transmite a los humanos a través del contacto con fluidos corporales de personas infectadas o animales, con los murciélagos frugívoros del género *Rousettus* siendo el reservorio natural más probable. La transmisión secundaria entre humanos ocurre a través del contacto directo con fluidos corporales, lo que ha llevado a brotes importantes en África subsahariana (CDC, 2021).

El ciclo de replicación del virus de Marburgo es similar al de otros filovirus. Tras la entrada en la célula huésped, el ARN viral es replicado y transcrito, produciendo nuevas proteínas virales y genomas que se ensamblan en nuevos viriones. Estos viriones se liberan mediante gemación, destruyendo la célula huésped y propagando la infección (Brauburger et al., 2012).

La fiebre hemorrágica de Marburgo se caracteriza por un inicio abrupto de fiebre, escalofríos, dolor de cabeza y mialgia. A medida que la enfermedad progresa, los pacientes pueden desarrollar náuseas, vómitos, dolor abdominal y diarrea. En casos graves, la enfermedad puede provocar hemorragias, shock y fallo multiorgánico, con tasas de mortalidad que varían del 24% al 88%, dependiendo de la cepa y la atención recibida (WHO, 2020).

No existen tratamientos antivirales específicos aprobados para la fiebre hemorrágica de Marburgo, y el tratamiento es principalmente de soporte. La prevención se centra en evitar el contacto con animales potencialmente infectados y mejorar las medidas de control de infecciones, particularmente en los entornos de atención médica (WHO, 2020).

Polio



Fuente: Woo Kyung Kim, 2024

La poliomiелitis, comúnmente conocida como polio, es una enfermedad infecciosa causada por el poliovirus, un miembro del género *Enterovirus* dentro de la familia *Picornaviridae*. La polio fue una de las enfermedades más temidas del siglo XX, causando parálisis y muerte en decenas de miles de personas, principalmente

niños, cada año antes de la introducción de las vacunas contra la polio (Paul, 1971).

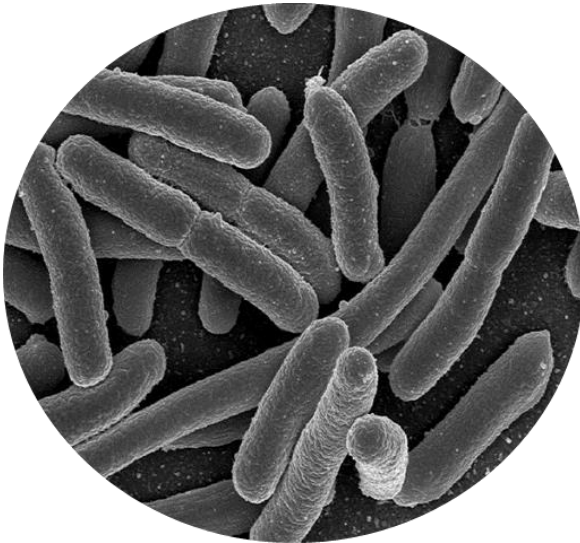
El poliovirus se transmite principalmente a través de la vía fecal-oral, y una vez ingerido, se multiplica en el intestino, desde donde puede invadir el sistema nervioso y causar parálisis. Aunque la mayoría de las infecciones son asintomáticas, aproximadamente el 1% de los casos resultan en una parálisis aguda flácida, que puede ser permanente y, en algunos casos, mortal si los músculos respiratorios están involucrados (Nathanson & Kew, 2010).

El ciclo de replicación del poliovirus comienza con la entrada del virus en las células huésped del tracto gastrointestinal. El ARN viral actúa directamente como ARN mensajero, siendo traducido por la maquinaria ribosomal de la célula huésped para producir proteínas virales. Después de la replicación del ARN viral y la síntesis de nuevas proteínas, los viriones se ensamblan y se liberan para infectar nuevas células (Racaniello, 2006).

La introducción de las vacunas de la polio en la década de 1950, particularmente la vacuna de virus inactivado (IPV) de Jonas Salk y la vacuna de virus atenuado (OPV) de Albert Sabin, llevó a una drástica reducción en la incidencia de la enfermedad. Las campañas de vacunación masiva han acercado al mundo a la erradicación de la polio, con solo unos pocos países aun reportando casos endémicos (Global Polio Eradication Initiative, 2021).

En resumen, la comprensión de los ciclos lítico y lisogénico, así como el estudio de enfermedades virales específicas como el Ébola, el VIH, la fiebre de Lassa, Marburgo y la polio, son fundamentales para la virología y la salud pública. Estas enfermedades representan desafíos significativos, pero también áreas donde la investigación y las intervenciones médicas han logrado avances importantes. La continua vigilancia, investigación y educación son esenciales para controlar y, en algunos casos, erradicar estas amenazas virales.

BACTERIAS



Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2024

El término "bacteria" proviene del griego "baktērion," que significa "bastoncillo," refiriéndose a la forma de bastón que tienen muchas bacterias. Este nombre fue acuñado por Christian Gottfried Ehrenberg en 1838, quien fue uno de los primeros en observar estos microorganismos al microscopio. Ehrenberg usó este término para describir organismos que eran más pequeños que los protozoos, y que tenían una

estructura simple. Aunque el término "bacteria" inicialmente se refería a una forma específica, hoy en día se utiliza para describir una amplia gama de formas celulares, incluyendo cocos (esféricos), bacilos (en forma de bastón), espirilos (en forma de espiral), y otras formas complejas (Cowan, 2000).

La evolución del uso del término refleja el desarrollo del campo de la microbiología. En el siglo XIX, con los avances en la microscopía y la técnica de cultivo de microorganismos, el concepto de bacterias se amplió para incluir todos los microorganismos unicelulares procariotas. Posteriormente, el descubrimiento de las arqueas en la década de 1970 llevó a una mayor refinación de la clasificación, estableciendo a las bacterias y arqueas como dominios separados de la vida, con diferencias significativas a nivel genético y bioquímico (Woese & Fox, 1977).

Las bacterias son organismos unicelulares que pertenecen al dominio Bacteria, uno de los tres dominios principales de la vida, junto con Archaea y Eukarya. Se encuentran en casi todos los ambientes de la Tierra, desde las profundidades oceánicas hasta la atmósfera, y juegan roles cruciales en diversos procesos biológicos, incluyendo la descomposición, la fijación de nitrógeno, y la fotosíntesis. Las bacterias son también importantes para la salud humana, tanto

como patógenos como en su función simbiótica en el microbioma humano (Madigan et al., 2018).

El estudio de las bacterias, conocido como bacteriología, ha sido fundamental para el desarrollo de la microbiología y la biología en general. Desde el descubrimiento de las bacterias por Anton van Leeuwenhoek en el siglo XVII, la comprensión de estos organismos ha avanzado enormemente. Las bacterias son extremadamente diversas, no solo en términos de morfología y estructura, sino también en sus capacidades metabólicas y adaptaciones ecológicas. Pueden ser autótrofas o heterótrofas, aerobias o anaerobias, y algunas pueden incluso sobrevivir en condiciones extremas, como en fuentes termales o ambientes altamente salinos (Brock et al., 2020).

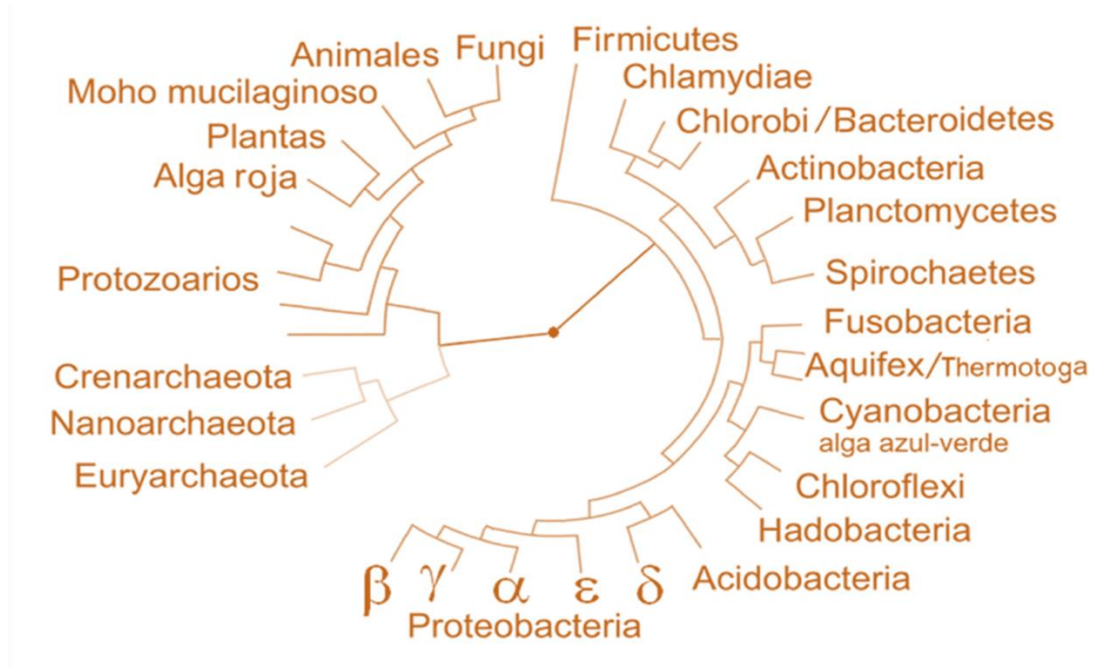
Origen y evolución de las bacterias

El origen de las bacterias se remonta a unos 3.5 a 4 mil millones de años, situándolas entre los primeros organismos en aparecer en la Tierra. La evidencia fósil más antigua de vida, en forma de estromatolitos, que son estructuras sedimentarias creadas por la actividad de comunidades microbianas, sugiere que las bacterias ya existían y eran capaces de realizar procesos metabólicos complejos en esta época temprana (Schopf, 2006).

Las bacterias han experimentado una evolución significativa desde su origen. El intercambio genético horizontal, a través de procesos como la conjugación, transducción y transformación, ha sido un factor crucial en su evolución, permitiendo una rápida adaptación a diferentes ambientes y la adquisición de nuevas capacidades metabólicas (Ochman, Lawrence & Groisman, 2000). Este intercambio genético ha sido fundamental en la evolución de características como la resistencia a antibióticos, la capacidad de degradar compuestos orgánicos complejos, y la adaptación a nichos extremos.

La divergencia entre las bacterias y las arqueas, y más tarde entre las bacterias y los eucariotas, es un evento clave en la historia evolutiva de la vida. Aunque las bacterias y arqueas comparten una estructura celular simple sin núcleo definido, difieren significativamente en sus componentes moleculares, como la composición de la membrana celular y las rutas metabólicas (Koonin, 2015).

Estas diferencias reflejan una larga historia de evolución independiente desde un ancestro común, que probablemente tenía características de ambas líneas, lo que sugiere que las bacterias han sido fundamentales en la evolución temprana de la vida.



Fuente: Elaboración propia.

Estructura de las bacterias

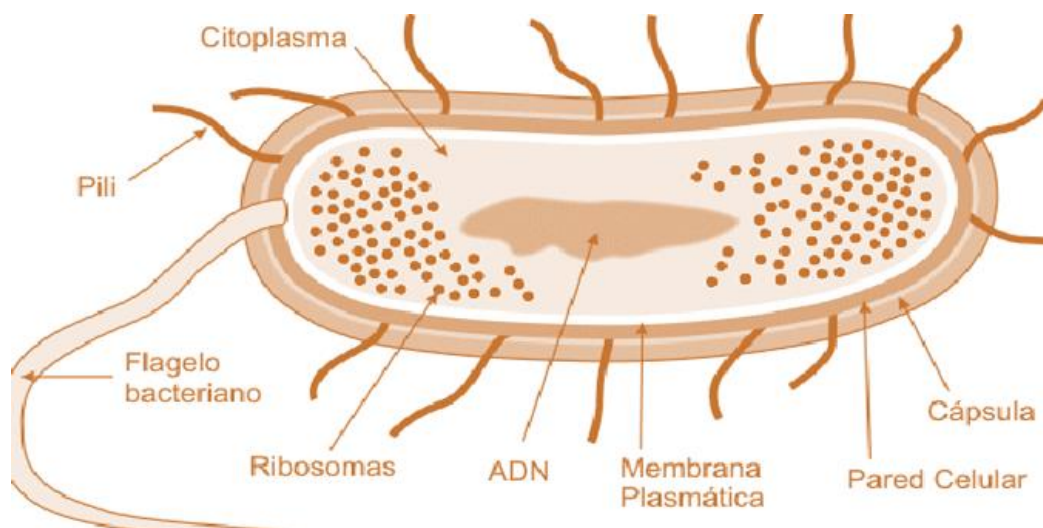
La estructura de las bacterias es notablemente simple en comparación con las células eucariotas, pero está altamente especializada para su funcionamiento. Las bacterias tienen una estructura básica que incluye una membrana plasmática, una pared celular, y, en muchos casos, una cápsula externa. Además, poseen ribosomas, un cromosoma circular único en la mayoría de las especies, y en algunos casos, plásmidos que son pequeñas moléculas de ADN extracromosómico que contienen genes adicionales (Tortora, Funke, & Case, 2016).

La membrana plasmática de las bacterias está compuesta principalmente de fosfolípidos y proteínas, y es responsable de una variedad de funciones esenciales, incluyendo la regulación del transporte de sustancias hacia y desde la célula, la generación de energía a través de la respiración celular, y la coordinación de la división celular (Silhavy, Kahne, & Walker, 2010). En bacterias

Gram-negativas, la membrana externa adicional contiene lipopolisacáridos, que son importantes para la patogenicidad y la respuesta inmune del huésped.

La pared celular bacteriana es una estructura crucial que confiere forma y protección a la célula. Está compuesta principalmente de peptidoglicano, una malla de polisacáridos y péptidos que proporciona rigidez y resistencia a la presión osmótica. La cantidad y estructura del peptidoglicano varía entre bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, lo que influye en su tinción diferencial en la prueba de Gram y tiene implicaciones clínicas en la respuesta a antibióticos (Vollmer, Blanot, & de Pedro, 2008).

Algunas bacterias también poseen estructuras especializadas como flagelos, que les permiten moverse, o fimbrias y pili, que son estructuras filamentosas que facilitan la adhesión a superficies y el intercambio genético. Estas estructuras son esenciales para la supervivencia y la capacidad de las bacterias para colonizar nuevos ambientes y formar biopelículas (Thanassi, Bliska, & Christie, 2012).



Fuente: Elaboración propia.

Aparición de la fotosíntesis



Fuente: Agencia Reforma, 2019

La aparición de la fotosíntesis en bacterias es uno de los eventos más importantes en la historia de la vida en la Tierra. Este proceso, que convierte la energía solar en energía química, tuvo profundas implicaciones para la biosfera y la evolución de los ecosistemas. Las bacterias fotosintéticas, como las cianobacterias, fueron probablemente los primeros

organismos en desarrollar la fotosíntesis oxigénica, un proceso que libera oxígeno como subproducto y que eventualmente llevó a la acumulación de oxígeno en la atmósfera terrestre (Knoll, 2015).

La fotosíntesis bacteriana se cree que se originó hace más de 2.4 mil millones de años, durante el Gran Evento de Oxidación. Antes de la aparición de la fotosíntesis oxigénica, la fotosíntesis anoxigénica, que no produce oxígeno, era común entre varios grupos de bacterias, como las bacterias púrpuras y verdes. Estos organismos utilizaban diferentes donantes de electrones, como el sulfuro de hidrógeno, en lugar de agua, para realizar la fotosíntesis (Blankenship, 2014).

La evolución de la fotosíntesis oxigénica en cianobacterias permitió la acumulación de oxígeno en la atmósfera, lo que tuvo consecuencias dramáticas para la vida en la Tierra. Este aumento en los niveles de oxígeno permitió la evolución de organismos aerobios y eventualmente la diversificación de formas de vida más complejas. Además, las cianobacterias establecieron simbiosis con eucariotas ancestrales, dando lugar a los cloroplastos en las plantas y algas, lo que extendió la capacidad fotosintética a un rango más amplio de organismos (Mereschkowsky, 1905).

Las bacterias fotosintéticas también desempeñan roles ecológicos cruciales en los ciclos biogeoquímicos, incluyendo el ciclo del carbono y del nitrógeno. A través de la fotosíntesis, estas bacterias no solo fijan carbono, sino que también contribuyen a la producción primaria en muchos ecosistemas acuáticos y

terrestres. Su capacidad para utilizar diferentes fuentes de energía y compuestos químicos ha permitido que las bacterias fotosintéticas prosperen en una variedad de ambientes, desde los océanos hasta las aguas termales y los suelos (Stal, 2012).

Las bacterias son organismos fundamentales en la biosfera, con una diversidad que refleja su larga historia evolutiva y su capacidad para adaptarse a una amplia gama de ambientes. Desde sus orígenes hace miles de millones de años, las bacterias han desarrollado estructuras y capacidades metabólicas que les permiten desempeñar roles cruciales en la ecología global, incluidos procesos vitales como la fotosíntesis. El estudio de las bacterias no solo proporciona información sobre la vida microbiana, sino que también es esencial para comprender los procesos biológicos fundamentales y las interacciones ecológicas que sostienen la vida en la Tierra.

Clasificación de las Bacterias



Fuente: Elaboración propia.

La clasificación de las bacterias es una tarea compleja que involucra múltiples criterios, incluyendo sus respuestas al oxígeno, las formas de obtener energía, y su coloración de Gram. Esta clasificación es fundamental para entender cómo estas células unicelulares se adaptan a diferentes ambientes y cómo pueden ser identificadas y estudiadas en contextos científicos y médicos.

Respuestas al Oxígeno Gaseoso

Las bacterias responden de manera diversa a la presencia de oxígeno en su entorno. Estas respuestas pueden clasificarse en anaeróbicas y aeróbicas, basadas en la capacidad de las bacterias para utilizar o tolerar oxígeno.

Bacterias Anaeróbicas

Las bacterias anaeróbicas son aquellas que no requieren oxígeno para crecer. Existen dos tipos principales de bacterias anaeróbicas: las anaeróbicas obligadas y las anaeróbicas facultativas.

Las anaeróbicas obligadas (o estrictas) no pueden sobrevivir en presencia de oxígeno. En su ausencia, estas bacterias realizan procesos metabólicos como la fermentación o la respiración anaeróbica para obtener energía. Ejemplos de bacterias anaeróbicas obligadas incluyen *Clostridium tetani*, que causa el tétanos, y *Bacteroides fragilis*, común en el tracto gastrointestinal humano (Madigan et al., 2018).

Por otro lado, las anaeróbicas facultativas pueden sobrevivir en presencia o ausencia de oxígeno. Estas bacterias tienen la capacidad de realizar respiración aeróbica cuando el oxígeno está disponible, pero pueden recurrir a la fermentación en su ausencia. *Escherichia coli* es un ejemplo de una bacteria anaeróbica facultativa, que se encuentra en el intestino de los humanos y animales y puede adaptarse a diferentes condiciones de oxígeno (Brock et al., 2020).

Bacterias Aeróbicas

Las bacterias aeróbicas requieren oxígeno para su crecimiento y supervivencia. Estas bacterias utilizan oxígeno en su respiración celular para producir energía. Las aeróbicas obligadas deben tener oxígeno para crecer, ya que no pueden realizar fermentación ni respiración anaeróbica. *Mycobacterium tuberculosis*, el patógeno responsable de la tuberculosis, es un ejemplo de una bacteria aeróbica obligada que crece mejor en los tejidos del pulmón, donde el oxígeno es abundante (Woods, 2012).

También existen bacterias aeróbicas microaerófilas que requieren oxígeno, pero en concentraciones más bajas que las presentes en la atmósfera normal. Estas bacterias prosperan en ambientes con niveles reducidos de oxígeno. Un ejemplo es *Campylobacter jejuni*, que se encuentra en el tracto gastrointestinal de aves y otros animales y es responsable de infecciones alimentarias en humanos (Nachamkin, 2002).

Formas de Obtener Energía

Las bacterias obtienen energía de diversas formas, lo que se puede clasificar en autotróficas, heterotróficas, fotótrofas, quimiotróficas, litótrofas y organótrofas. Cada una de estas formas de nutrición refleja adaptaciones evolutivas a diferentes tipos de ambientes.

Autotróficas



Fuente: Tanmay Ghosh, 2019

Las bacterias autotróficas obtienen su carbono de fuentes inorgánicas, típicamente el dióxido de carbono. Dentro de este grupo, las bacterias pueden ser fotótrofas o quimiotróficas.

Fotótrofas Autotróficas: Estas bacterias utilizan la luz como fuente de energía para fijar el dióxido de carbono. Ejemplos incluyen las cianobacterias, que realizan la fotosíntesis

oxigénica y producen oxígeno como subproducto. Este proceso fue crucial en la historia de la vida en la Tierra, ya que contribuyó a la acumulación de oxígeno en la atmósfera (Blankenship, 2014).

Bacterias Quimiotróficas Autotróficas: Estas bacterias obtienen su energía de reacciones químicas inorgánicas. Un ejemplo son las bacterias nitrificantes, que oxidan compuestos como el amoníaco o los nitritos para obtener energía, mientras fijan el dióxido de carbono en sus células (Prosser, 2010).

Heterotróficas



Fuente: El Heraldo, 2022

Las bacterias heterotróficas obtienen carbono de fuentes orgánicas, como compuestos que contienen carbono proveniente de otros organismos. Este grupo se puede subdividir en diferentes tipos basados en sus fuentes de energía:

Bacterias Fototrófas Heterotróficas: Utilizan la luz como fuente de energía pero obtienen carbono de compuestos

orgánicos. Un ejemplo son las bacterias púrpuras no sulfúricas, que realizan fotosíntesis anoxigénica (Madigan et al., 2018).

Bacterias Quimiotrófas Heterotróficas: Obtienen tanto su energía como su carbono de compuestos orgánicos. Estas bacterias son importantes en la descomposición de materia orgánica y en ciclos biogeoquímicos. Ejemplos incluyen *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*, que son comunes en diversos ambientes y en el tracto gastrointestinal de humanos y animales (Brock et al., 2020).

Litótrofes



Fuente: Uninta Centro Universitario, 2022

Las bacterias litótrofes obtienen su energía de la oxidación de compuestos inorgánicos, como el hidrógeno, el amoníaco o el hierro. Estas bacterias suelen encontrarse en ambientes extremos, como fuentes termales o depósitos minerales. Un ejemplo son las bacterias oxidantes de hierro, que obtienen energía de la oxidación del hierro (Emerson et al., 2007).

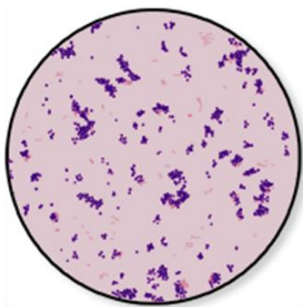
Organótrofas

Las bacterias organótrofas obtienen su energía de la oxidación de compuestos orgánicos. Esta forma de nutrición es característica de muchas bacterias patógenas y descomponedoras. La mayoría de las bacterias patógenas humanas, como *Staphylococcus aureus*, son organótrofas, utilizando compuestos orgánicos presentes en el cuerpo humano para crecer y proliferar (Lowy, 2003).

Coloración de Gram

La coloración de Gram es una técnica fundamental para la identificación de bacterias, basada en las diferencias en la estructura de sus paredes celulares. Las bacterias se clasifican en Gram positivas o Gram negativas según su respuesta a la tinción de Gram, una técnica desarrollada por el bacteriólogo danés Hans Christian Gram en 1884.

Gram Positivas



Fuente: Sánchez, 2022

Las bacterias Gram positivas tienen una pared celular gruesa compuesta principalmente de peptidoglicano. Esta estructura retiene el cristal violeta durante el proceso de tinción, resultando en una coloración morada. La capa de peptidoglicano en estas bacterias es más densa y sirve como una barrera protectora contra agentes externos, como antibióticos. Ejemplos de bacterias Gram positivas incluyen *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae*, y *Bacillus anthracis*, el agente causal del ántrax (Harvey et al., 2012).

Gram Negativas

Las bacterias Gram negativas tienen una pared celular más compleja, que incluye una capa delgada de peptidoglicano entre dos membranas, una interna y otra externa. La membrana externa contiene lipopolisacáridos (LPS), que contribuyen



Fuente: Sánchez, 2022

a la estructura y la patogenicidad de estas bacterias. En la tinción de Gram, las bacterias Gram negativas no retienen el cristal violeta y se tiñen de rosa o rojo debido a la aplicación de safranina. Ejemplos de bacterias Gram negativas son *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, y *Neisseria gonorrhoeae*, que pueden causar infecciones en diferentes tejidos y órganos (Sokurenko et al., 1998).

La clasificación de las bacterias en función de su respuesta al oxígeno, sus formas de obtener energía, y su coloración de Gram proporciona una comprensión integral de su biología y adaptaciones. Estas clasificaciones son cruciales para la identificación bacteriana, la investigación microbiológica y el desarrollo de tratamientos para enfermedades infecciosas. A medida que la tecnología y el conocimiento científico avanzan, la clasificación y comprensión de las bacterias continúan evolucionando, revelando la increíble diversidad y la importancia de estos organismos en la vida en la Tierra.

Clasificación de las Células en Eucariotas y Procariotas



Fuente: Elaboración propia.

La biología celular distingue entre dos grandes tipos de células: eucariotas y procariotas. Esta clasificación se basa en diferencias fundamentales en la organización estructural y funcional de las células, que afectan todos los aspectos de su biología, desde su tamaño hasta sus métodos de reproducción

Características de las Células Eucariotas y Procariotas

Células Eucariotas



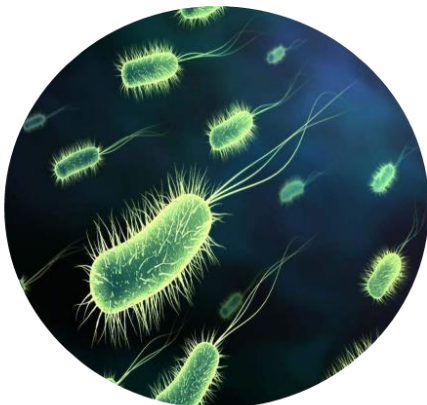
Fuente: Alberts et al., 2014

Las células eucariotas se caracterizan por tener un núcleo definido y organelos membranosos que realizan funciones específicas dentro de la célula. El núcleo, rodeado por una doble membrana nuclear, contiene el material genético en forma de cromosomas lineales. Además, las eucariotas presentan una variedad de organelos como mitocondrias, cloroplastos (en plantas y algas), aparato

de Golgi, retículo endoplásmico, y lisosomas, todos ellos membranosos, que permiten una compartimentación eficiente de procesos bioquímicos (Alberts et al., 2014).

Los eucariotas incluyen organismos unicelulares como protozoos y algas, y multicelulares como plantas, animales y hongos. La estructura interna compleja y la capacidad para realizar una gran variedad de funciones permite a los eucariotas adaptarse a una amplia gama de ambientes y roles ecológico. La reproducción eucariota puede ser asexual, mediante mitosis, o sexual, mediante meiosis y fertilización (Lodish et al., 2016).

Células Procariotas



Fuente: Madigan et al., 2018

En contraste, las células procariotas, que incluyen bacterias y arqueas, carecen de un núcleo definido y no poseen organelos membranosos. Su material genético se encuentra en una región denominada nucleoide, que no está separada por una membrana del resto del citoplasma. Los procariotas tienen una estructura celular más simple y suelen ser más pequeñas que las

eucariotas. Su pared celular, que varía en composición entre diferentes grupos, juega un papel crucial en la protección y la forma celular (Madigan et al., 2018).

Los procariotas se reproducen principalmente por fisión binaria, un proceso de división celular que resulta en la formación de dos células hijas genéticamente idénticas. Su capacidad de adaptarse a condiciones extremas y su diversidad metabólica les permiten colonizar una amplia variedad de nichos ecológicos (Brock et al., 2020).

Clases de Bacterias

Las bacterias se pueden clasificar en diversas formas, basadas en su morfología y características estructurales. Esta clasificación incluye cocos, diplococos, estreptococos, estafilococos, sarcinas, bacilos, vibriones, espiroquetas y espirilos. Cada una de estas formas refleja adaptaciones evolutivas y funcionales específicas.

Cocos

Los cocos son bacterias esféricas. Pueden aparecer solas o en agrupaciones, dependiendo de su patrón de división. Los cocos son responsables de una variedad de infecciones humanas, desde faringitis hasta neumonía. Ejemplos notables incluyen *Streptococcus pyogenes*, que causa faringitis estreptocócica, y *Staphylococcus aureus*, conocido por causar infecciones cutáneas y sistémicas (Harvey et al., 2012).

Diplococos

Los diplococos son cocos que se dividen en pares. Estos pares pueden ser observados en forma de diplococos en cultivos de laboratorio. Un ejemplo clínico es *Neisseria gonorrhoeae*, que causa gonorrea, y *Neisseria meningitidis*, que está asociado con la meningitis bacteriana (Lodish et al., 2016).

Estreptococos

Los estreptococos son cocos que se agrupan en cadenas. Esta forma de agrupación se debe a la división en un solo plano, lo que resulta en una disposición lineal. Ejemplos importantes incluyen *Streptococcus pneumoniae*,

que causa neumonía, y *Streptococcus mutans*, asociado con la caries dental (Madigan et al., 2018).

Estafilococos

Los estafilococos forman racimos similares a uvas debido a su división en varios planos. *Staphylococcus aureus* es un miembro notable de este grupo, responsable de una variedad de infecciones, desde abscesos cutáneos hasta enfermedades más graves como la septicemia y el síndrome de choque tóxico (Brock et al., 2020).

Sarcinas

Las sarcinas son cocos que se dividen en tres planos, formando cubos o paquetitos de ocho células. Aunque son menos comunes, un ejemplo de sarcinas es *Sarcina ventriculi*, que se ha asociado con ciertas infecciones gastrointestinales (Brock et al., 2020).

Bacilos

Los bacilos son bacterias en forma de bastón. Esta forma alargada puede ser observada en una variedad de géneros, incluyendo *Bacillus*, *Clostridium*, y *Escherichia*. Las bacterias del género *Bacillus*, como *Bacillus anthracis*, causante del ántrax, y las del género *Clostridium*, que incluyen patógenos como *Clostridium tetani*, son ejemplos importantes (Alberts et al., 2014).

Vibriones

Los vibriones tienen una forma de coma o de bastón curvado. Un ejemplo de vibriones es *Vibrio cholerae*, el agente causal del cólera, una enfermedad gastrointestinal grave. Su forma curvada es útil para su movilidad en ambientes acuáticos (Madigan et al., 2018).

Espiroquetas

Las espiroquetas son bacterias con forma helicoidal o espiralada. Esta forma les permite moverse con una forma de locomoción especial llamada movimiento de

onda. *Treponema pallidum*, que causa la sífilis, y *Borrelia burgdorferi*, que causa la enfermedad de Lyme, son ejemplos destacados (Lodish et al., 2016).

Espirilos

Los espirilos tienen una forma espiral rígida y son móviles debido a sus flagelos situados en el exterior de la célula. Un ejemplo de espirilos es *Spirillum minus*, asociado con la fiebre de la rata (Harvey et al., 2012).



Fuente: Elaboración propia.

REPRODUCCIÓN POR PARTICIÓN O POR ESPORULACIÓN

Reproducción por Partición

La reproducción por partición, o fisión binaria, es el principal método de reproducción en bacterias procariotas. Este proceso es asexual y permite la producción rápida de células hijas a partir de una célula madre. Durante la fisión binaria, la célula madre se duplica, incluyendo su material genético, y se divide en dos células hijas, cada una con una copia del material genético original. Este mecanismo de reproducción permite a las bacterias proliferar rápidamente en condiciones favorables y es esencial para su capacidad de colonizar nuevos ambientes (Madigan et al., 2018).

Reproducción por Esporulación

La esporulación es un proceso de reproducción asexual que ocurre en ciertas bacterias bajo condiciones adversas. La esporulación implica la formación de esporas, que son estructuras altamente resistentes y duraderas. Estas esporas pueden sobrevivir a condiciones extremas como la deshidratación, el calor, y la exposición a agentes químicos. Cuando las condiciones mejoran, las esporas germinan y se convierten nuevamente en células vegetativas activas.

Un ejemplo de bacterias que realizan esporulación es el género *Clostridium*, que incluye especies como *Clostridium botulinum* y *Clostridium difficile*. La esporulación permite a estas bacterias sobrevivir en ambientes hostiles y persistir en el medio ambiente hasta que condiciones más favorables se presenten (Lodish et al., 2016).

La clasificación y el análisis de las células eucariotas y procariotas, así como de las diferentes formas y métodos de reproducción de las bacterias, proporcionan una base esencial para comprender la biología celular y microbiológica. La diferencia en la estructura entre eucariotas y procariotas refleja adaptaciones evolutivas que permiten a los organismos prosperar en una variedad de ambientes. Las formas de bacterias y sus métodos de reproducción, como la fisión binaria y la esporulación, demuestran la diversidad de estrategias adaptativas que permiten a las bacterias sobrevivir y proliferar. Estos conceptos

son fundamentales para la microbiología, la medicina y la biología en general, ya que ofrecen insights críticos sobre cómo los microorganismos interactúan con su entorno y afectan la salud y el ecosistema.

¿DÓNDE ENCONTRAMOS LAS BACTERIAS?

Las bacterias son organismos ubicuos que se encuentran en casi todos los ambientes del planeta. Su capacidad para adaptarse a una amplia variedad de condiciones les permite colonizar hábitats extremos y comunes, lo que subraya su importancia ecológica y su impacto en los procesos biogeoquímicos.

Ambientes Naturales



Fuente: Madigan et al., 2018

Las bacterias habitan una diversidad de ambientes naturales, desde el suelo y los cuerpos de agua hasta el aire y las rocas. En el suelo, las bacterias juegan un papel crucial en la descomposición de materia orgánica y la formación de nutrientes esenciales para las plantas. En los cuerpos de agua, tanto dulces como salados, las bacterias contribuyen al ciclo del nitrógeno y al mantenimiento del equilibrio ecológico

(Madigan et al., 2018).

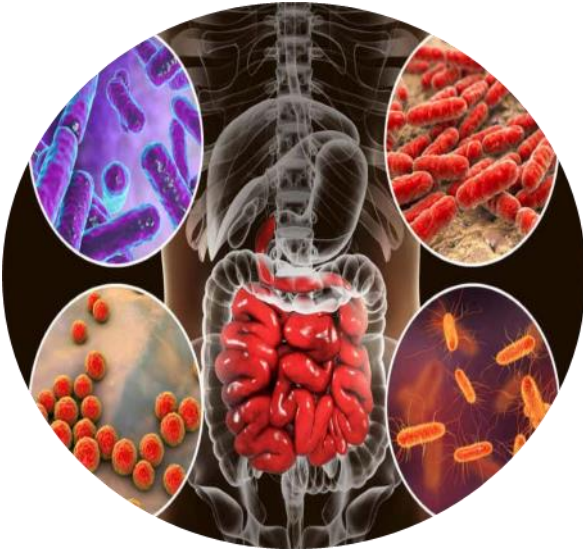
Ambientes Extremos

Las bacterias extremófilas son capaces de vivir en condiciones extremas que serían inhóspitas para la mayoría de los organismos eucariotas. Estas bacterias se encuentran en ambientes como fuentes termales, zonas de alta salinidad y regiones ácidas. Ejemplos incluyen *Thermophilus aquaticus*, que vive en aguas termales y es utilizada en la PCR por su capacidad para soportar altas temperaturas (Brock et al., 2020).



Fuente: Brock et al., 2020

Microbiota Humana



Fuente: Lodish et al., 2016

Dentro del cuerpo humano, las bacterias forman parte de la microbiota normal, que reside en diversas partes como la piel, la boca, el tracto respiratorio, el tracto gastrointestinal y el tracto urogenital. Estas bacterias no solo son cruciales para la salud digestiva y la síntesis de vitaminas, sino que también juegan un papel en la protección contra patógenos y el mantenimiento de la homeostasis (Lodish et al., 2016).

Bacterias Patógenas

Las bacterias patógenas son aquellas que tienen la capacidad de causar enfermedades en los seres humanos y otros organismos. Su virulencia puede depender de varios factores, incluyendo la producción de toxinas, la capacidad de evadir el sistema inmunológico y la adherencia a las células huésped.



Fuente: Lodish et al., 2016

Ántrax (*Bacillus anthracis*)

El ántrax es una enfermedad grave causada por *Bacillus anthracis*, una bacteria grampositiva formadora de esporas. Este patógeno puede infectar a los humanos a través de la piel, la inhalación de esporas o la ingestión de alimentos contaminados. Las esporas de *B. anthracis* son

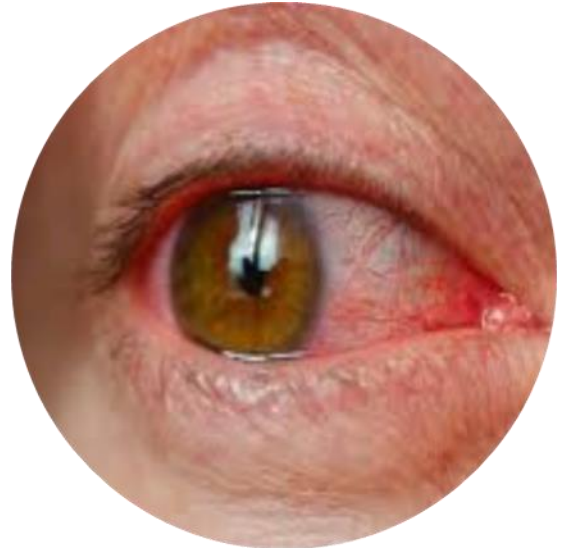


Fuente: Harvey et al., 2012

extremadamente resistentes a condiciones ambientales adversas, lo que facilita su persistencia en el entorno. La infección cutánea, la forma más común, se presenta como una úlcera con un centro necrótico. Las formas inhalatoria y gastrointestinal pueden ser mortales si no se tratan rápidamente (Harvey et al., 2012).

Conjuntivitis (*Chlamydia trachomatis*)

La conjuntivitis, o "ojo rosado", puede ser causada por *Chlamydia trachomatis*, una bacteria intracelular obligada. Esta bacteria infecta las membranas mucosas del ojo, provocando inflamación y secreción. En ausencia de tratamiento, puede llevar a complicaciones graves como la ceguera. La *Chlamydia trachomatis* también está asociada con infecciones genitales, y es una de las causas principales de enfermedad de transmisión sexual (Lodish et al., 2016).



Fuente: Lodish et al., 2016

Tétano (*Clostridium tetani*)



Fuente: Madigan et al., 2018

El tétano es causado por *Clostridium tetani*, una bacteria anaeróbica grampositiva que produce esporas. Esta bacteria se encuentra en el suelo, el polvo y el estiércol, y puede ingresar al cuerpo a través de heridas profundas. El tétano se caracteriza por espasmos musculares dolorosos y rigidez, que resultan de las toxinas producidas por la bacteria. La vacunación es una medida preventiva efectiva

para evitar el tétano (Madigan et al., 2018).

Diarrea (*Escherichia coli*)

Escherichia coli es una bacteria gramnegativa que puede causar diarrea, especialmente en sus cepas enteropatógenas. La infección generalmente ocurre a través del consumo de alimentos o agua contaminados. *E. coli* puede causar síntomas como diarrea acuosa, dolor abdominal y fiebre. Algunas cepas, como *E. coli* O157, están asociadas con brotes de diarrea severa y complicaciones graves como el síndrome urémico hemolítico (Brock et al., 2020).



Fuente: Brock et al., 2020

Encefalitis (*Listeria monocytogenes*)



Fuente: Harvey et al., 2012

Listeria monocytogenes es una bacteria grampositiva que puede causar encefalitis, una inflamación del cerebro, especialmente en individuos con sistemas inmunitarios comprometidos y mujeres embarazadas. Esta bacteria puede encontrarse en alimentos contaminados, como productos lácteos no pasteurizados y carnes procesadas. La encefalitis por *L. monocytogenes* se manifiesta con síntomas neurológicos graves y puede ser mortal si no se trata adecuadamente (Harvey et al., 2012).

Tuberculosis (Mycobacterium tuberculosis)

La tuberculosis es una enfermedad crónica causada por *Mycobacterium tuberculosis*, una bacteria grampositiva con una pared celular rica en lípidos. La infección se transmite principalmente por el aire a través de gotitas respiratorias. Los síntomas incluyen tos persistente, fiebre y pérdida de peso. El tratamiento



Fuente: Lodish et al., 2016

generalmente requiere una combinación de antibióticos durante un periodo prolongado. La tuberculosis sigue siendo una importante preocupación de salud pública en muchas partes del mundo (Lodish et al., 2016).

Lepra (Mycobacterium leprae)



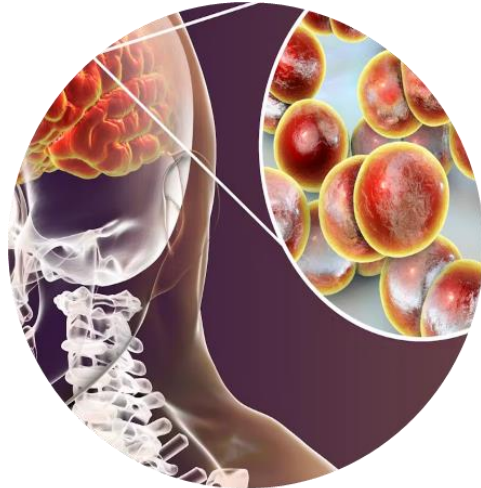
Fuente: Brock et al., 2020

La lepra, también conocida como enfermedad de Hansen, es causada por *Mycobacterium leprae*. Esta enfermedad crónica afecta la piel, los nervios periféricos y las mucosas, y puede llevar a deformidades y discapacidades. La transmisión se cree que ocurre a través de gotas respiratorias, y el diagnóstico temprano y el tratamiento con antibióticos son esenciales para controlar la enfermedad y prevenir la discapacidad

(Brock et al., 2020).

Meningitis (Neisseria meningitidis)

La meningitis meningocócica es causada por *Neisseria meningitidis*, una bacteria gramnegativa. Esta bacteria puede provocar una inflamación rápida y severa de las membranas que recubren el cerebro y la médula espinal. La infección puede ser transmitida a través de gotas respiratorias y puede causar síntomas como fiebre alta, rigidez en el cuello y erupciones cutáneas. La vacunación es una medida preventiva importante para proteger contra varias cepas de *N. meningitidis* (Harvey et al., 2012).



Fuente: Harvey et al., 2012

Sífilis (*Treponema pallidum*)



Fuente: Lodish et al., 2016

La sífilis es una enfermedad de transmisión sexual causada por *Treponema pallidum*, una espiroqueta gramnegativa. La sífilis se presenta en varias etapas, comenzando con úlceras genitales indoloras, y puede progresar a lesiones cutáneas, daño a órganos internos y complicaciones neurológicas si no se trata. El diagnóstico se realiza a través de pruebas serológicas y la enfermedad es tratada

eficazmente con antibióticos (Lodish et al., 2016).

Escarlatina (*Streptococcus pyogenes*)

La escarlatina es causada por *Streptococcus pyogenes*, una bacteria grampositiva que también causa faringitis estreptocócica. La escarlatina se caracteriza por una erupción roja, fiebre alta y una lengua enrojecida y elevada. Esta enfermedad suele seguir a una



Fuente: Madigan et al., 2018

infección de garganta y puede ser tratada con antibióticos, lo cual ayuda a prevenir complicaciones graves como fiebre reumática (Madigan et al., 2018).

¿EN QUÉ NOS BENEFICIAN LAS BACTERIAS?

Las bacterias desempeñan roles esenciales en muchos procesos biológicos y ecológicos que benefician a los seres humanos y a los ecosistemas en general.

Biosíntesis de Vitaminas

En el tracto gastrointestinal humano, ciertas bacterias intestinales, como *Bacteroides* y *Lactobacillus*, contribuyen a la síntesis de vitaminas esenciales, como las vitaminas del complejo B y la vitamina K. Estas vitaminas son importantes para varias funciones corporales, incluyendo la producción de glóbulos rojos y la coagulación sanguínea (Lodish et al., 2016).



Fuente: Elaboración propia.

Descomposición de Materia Orgánica



Fuente: Madigan et al., 2018

Las bacterias son fundamentales en el proceso de descomposición de materia orgánica. Actúan sobre los restos de organismos muertos y residuos, convirtiéndolos en compuestos más simples que pueden ser reutilizados en los ciclos biogeoquímicos. Este proceso es crucial para el reciclaje de nutrientes en los ecosistemas terrestres y acuáticos (Madigan et al., 2018).

Ciclos Biogeoquímicos

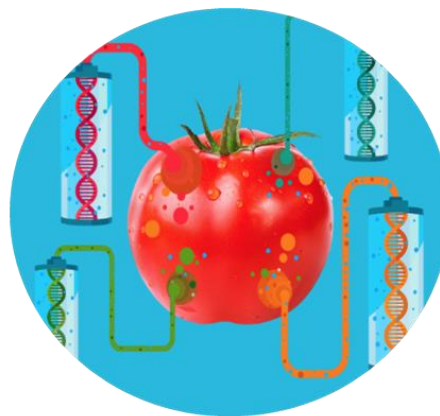


Fuente: Elaboración propia.

Las bacterias están involucradas en los ciclos biogeoquímicos, incluyendo el ciclo del nitrógeno, donde bacterias como *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* convierten el nitrógeno atmosférico en formas utilizables por las plantas. Este proceso es esencial para la fertilidad del suelo y la producción agrícola (Brock et al., 2020).

Producción de Alimentos y Bebidas

Las bacterias son empleadas en la producción de alimentos y bebidas fermentados. Bacterias como *Lactobacillus* y *Streptococcus* se utilizan para fermentar productos lácteos, como el yogur y el queso, así como en la elaboración de pan y bebidas alcohólicas como la cerveza y el vino. Estas bacterias no solo contribuyen al sabor y textura de los productos, sino que también tienen beneficios para la salud intestinal (Harvey et al., 2012).



Fuente: Harvey et al., 2012

Biorremediación

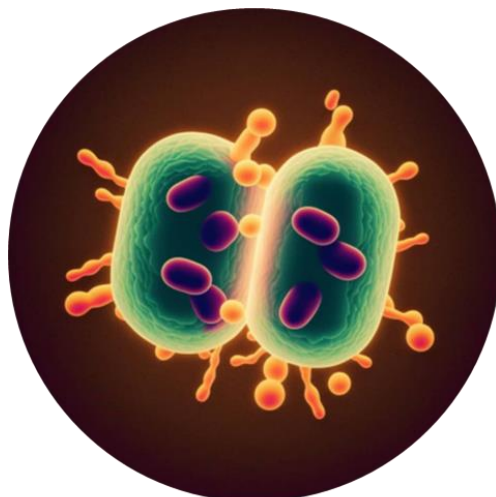


Fuente: Lodish et al., 2016

En la biorremediación, las bacterias se utilizan para degradar contaminantes ambientales. Bacterias como *Pseudomonas* y *Bacillus* pueden descomponer compuestos tóxicos, como hidrocarburos y metales pesados, en ambientes contaminados, ayudando a limpiar suelos y aguas contaminadas (Lodish et al., 2016).

Fisión Binaria

La fisión binaria es el principal método de reproducción asexual en bacterias. Durante la fisión binaria, una célula bacteriana se divide en dos células hijas genéticamente idénticas. Este proceso comienza con la replicación del ADN bacteriano, seguido por la elongación de la célula y la formación de un septo que divide la célula en dos. La fisión binaria permite una rápida



Fuente: Madigan et al., 2018

proliferación de bacterias en condiciones favorables y es un mecanismo clave para la expansión de poblaciones bacterianas (Madigan et al., 2018).

Plásmidos



Fuente: Brock et al., 2020

Los plásmidos son moléculas de ADN extracromosómico que se encuentran en muchas bacterias. Estos elementos genéticos suelen ser circulares y pueden replicarse de manera independiente del ADN cromosómico. Los plásmidos a menudo contienen genes que confieren ventajas selectivas, como la resistencia a antibióticos o la capacidad de metabolizar compuestos específicos. La transferencia

horizontal de plásmidos entre bacterias a través de conjugación puede facilitar la diseminación rápida de estas características en poblaciones bacterianas (Brock et al., 2020).

Las bacterias, a pesar de su tamaño diminuto, tienen un impacto enorme en los ecosistemas y en la salud humana. Desde su omnipresencia en el medio ambiente hasta su rol en enfermedades y beneficios para la salud, las bacterias son organismos fundamentales en el funcionamiento de la vida en la Tierra. Comprender su distribución, su impacto patógeno, sus beneficios y sus mecanismos reproductivos y genéticos proporciona una visión integral de su importancia biológica y ecológica. Esta comprensión es esencial para la investigación en microbiología, medicina y biotecnología, así como para el desarrollo de estrategias efectivas para manejar infecciones y aprovechar sus capacidades beneficiosas.

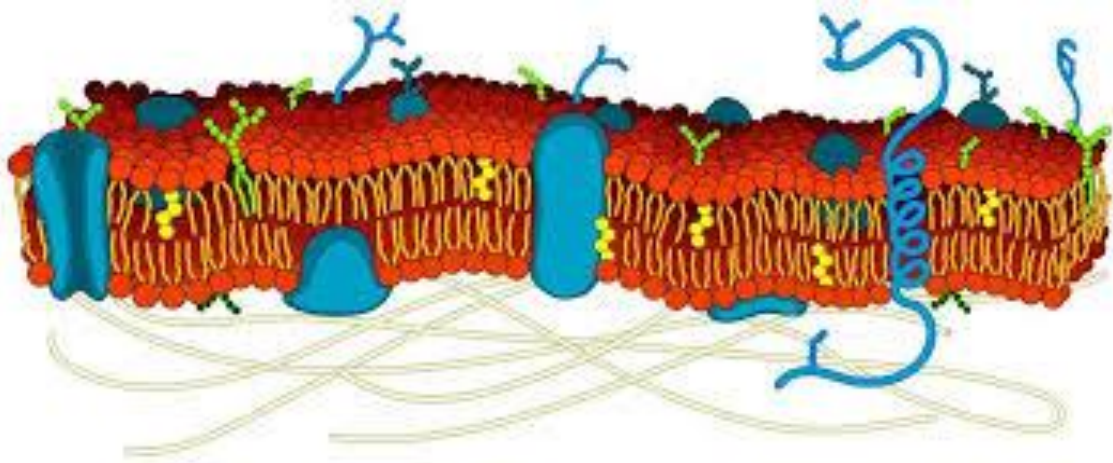


UNIDAD III

Membrana Celular.

UNIDAD III

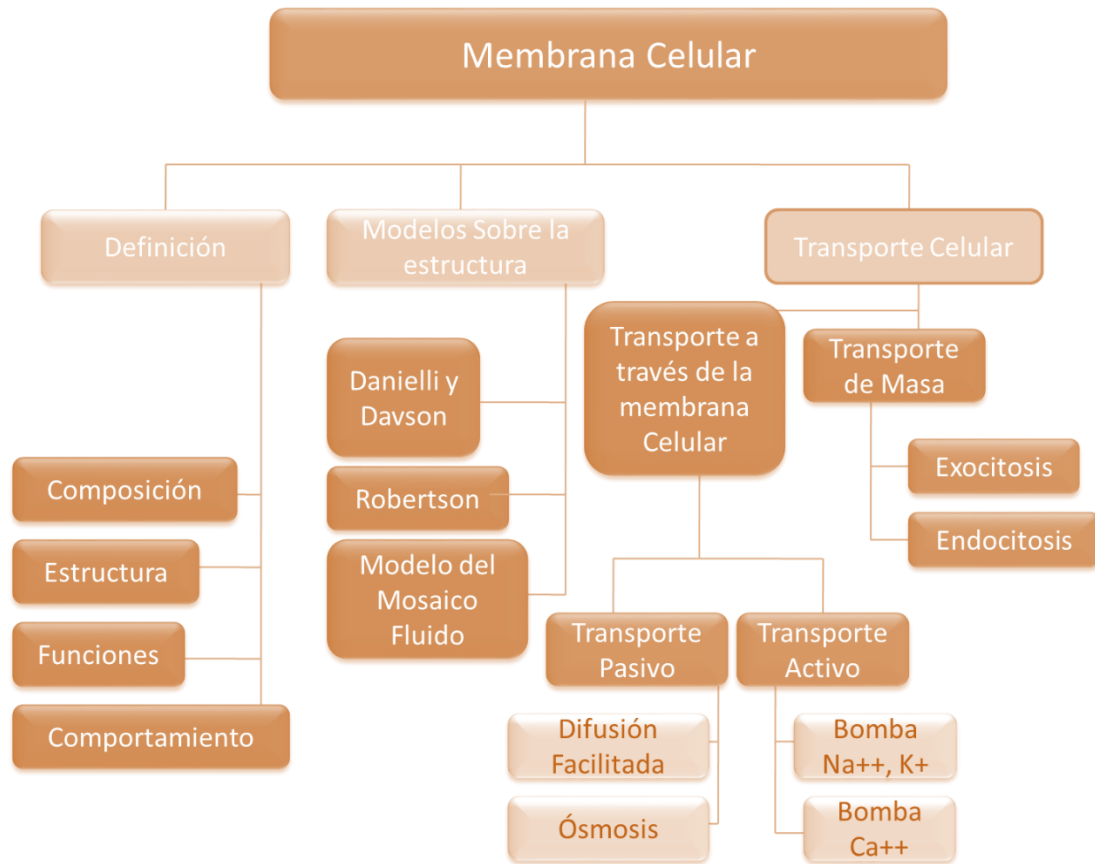
MEMBRANA CELULAR



Fuente: Elaboración propia.

La membrana celular es una estructura fundamental para la vida. A lo largo de la historia, la comprensión de la membrana ha evolucionado significativamente, desde su descubrimiento hasta los modelos actuales que explican su composición, estructura y funciones. Este análisis explora la historia de la membrana celular, su definición, función, permeabilidad, propiedades, composición y estructura, con el objetivo de proporcionar una visión integral de su importancia en la biología celular.

La membrana celular, también conocida como membrana plasmática, es una estructura semipermeable que rodea el citoplasma de la célula. Actúa como una barrera que separa el interior de la célula del ambiente externo, regulando el paso de sustancias hacia dentro y fuera de la célula. Es esencial para mantener la homeostasis celular y permite la comunicación con otras células.



Fuente: Elaboración propia

Historia de la membrana celular

1665 - Robert Hooke

El concepto de la célula, y por ende de la membrana celular, tiene sus raíces en las primeras observaciones microscópicas. Robert Hooke, en 1665, fue el primero en utilizar un microscopio para observar estructuras celulares en un corcho, a las que llamó "celdillas" o células. Aunque Hooke no describió explícitamente una membrana, su trabajo sentó las bases para el desarrollo futuro del concepto de la célula como la unidad básica de la vida (Hooke, 1665).



1869 - El biólogo suizo Friedrich Miescher

El avance hacia la comprensión de la membrana celular se profundizó con el trabajo de Friedrich Miescher, un biólogo suizo que en 1869 aisló una sustancia que denominó "nucleína" (ahora conocida como ADN) a partir de los núcleos celulares. Aunque Miescher estaba más enfocado en el contenido nuclear, su trabajo fue crucial para comprender la composición interna de la célula y, eventualmente, la necesidad de una membrana que separara estos componentes del entorno externo (Miescher, 1869).



1935 - Danielli y Davson

El modelo de membrana celular comenzó a tomar forma concreta en 1935 cuando James Danielli y Hugh Davson propusieron el primer modelo estructural de la membrana plasmática. Según su modelo, la membrana estaba formada por una bicapa lipídica cubierta por una capa de proteínas. Esta idea fue fundamental para comprender la función de barrera selectiva de la membrana, aunque más tarde se reveló que la disposición de las proteínas era más compleja (Danielli & Davson, 1935).

1952 - Modelo de Dawson y Danielli

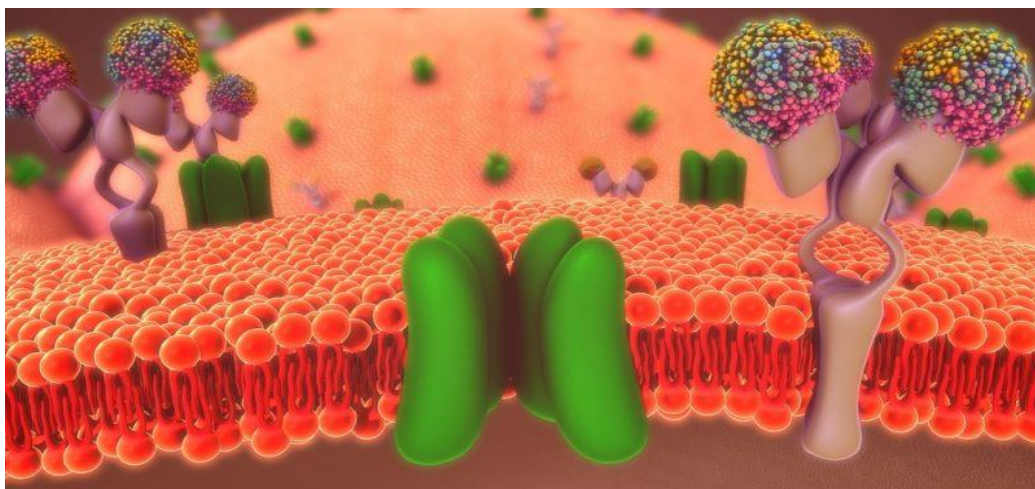
El modelo de Danielli y Davson fue refinado en 1952 para incorporar datos adicionales sobre la estructura de la membrana. Dawson y Danielli propusieron que las proteínas no solo cubrían la superficie de la bicapa lipídica, sino que algunas también la atravesaban, formando canales que permitían el paso selectivo de moléculas. Este modelo acercó la ciencia a la comprensión moderna de las membranas, aunque todavía faltaba una visión más dinámica (Dawson & Danielli, 1952).

1972 - SJ Singer y Garth Nicolson

El verdadero avance en la comprensión de la estructura de la membrana celular llegó en 1972, cuando SJ Singer y Garth Nicolson propusieron el modelo de mosaico fluido. Este modelo describe la membrana como una bicapa lipídica en la que las proteínas están incrustadas de manera asimétrica, con movilidad lateral dentro de la capa. Este modelo revolucionó la biología celular al proporcionar una visión más dinámica y precisa de cómo funcionan las membranas celulares (Singer & Nicolson, 1972).

*1988 - Peter Agre*

En 1988, Peter Agre y sus colegas identificaron y caracterizaron las acuaporinas, un tipo específico de proteína integral de membrana que facilita el transporte de agua a través de la membrana celular. Este descubrimiento fue fundamental para comprender cómo las células regulan su volumen y la osmorregulación, lo que tiene implicaciones significativas en la fisiología y en diversas enfermedades (Agre et al., 1988).

*Función de la membrana celular*

Fuente: Dreamstime, 2024.

Las funciones de la membrana celular son múltiples y cruciales para la supervivencia celular. Entre las más importantes se incluyen:

- **Barrera Selectiva:** La membrana regula el paso de iones y moléculas, permitiendo que solo ciertas sustancias ingresen o salgan de la célula.
- **Comunicación Celular:** Las proteínas de la membrana actúan como receptores que detectan señales químicas externas, desencadenando respuestas celulares.
- **Adhesión Celular:** Las membranas permiten la adhesión de células entre sí, formando tejidos.
- **Transporte Activo y Pasivo:** La membrana facilita el transporte de moléculas a través de difusión simple, difusión facilitada y transporte activo.
- **Anclaje para el Citoesqueleto:** Las proteínas de la membrana se conectan con el citoesqueleto, ayudando a mantener la forma celular y facilitando el movimiento celular.

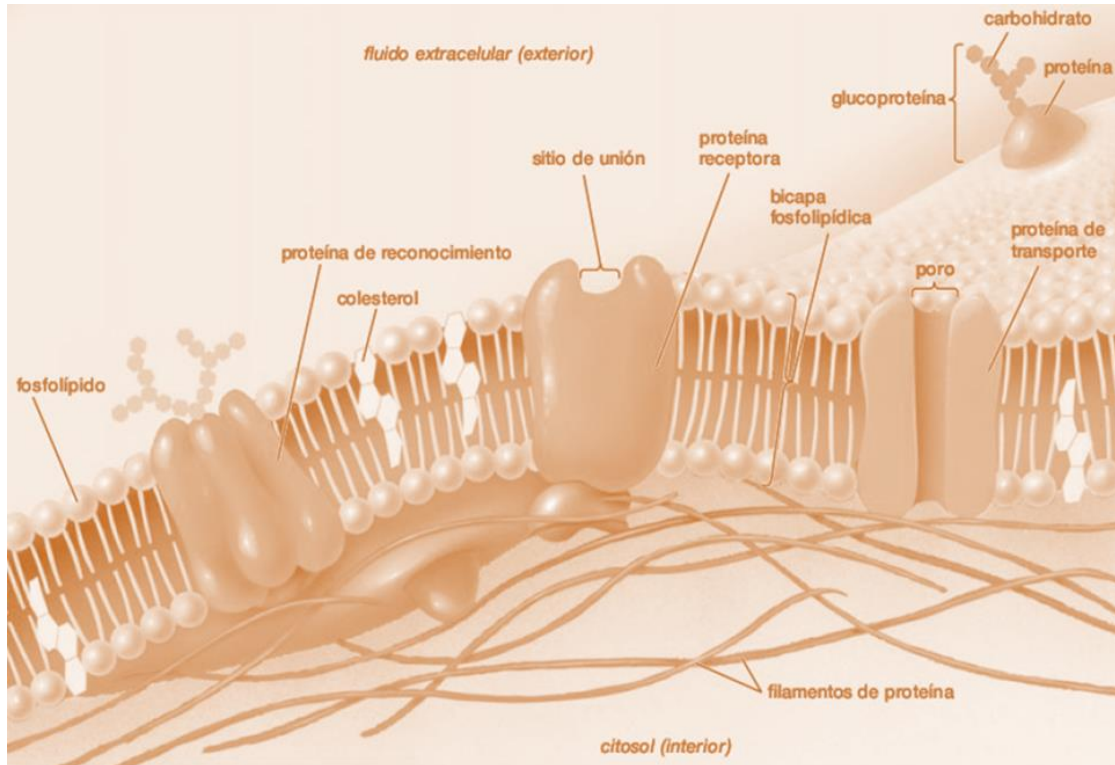
Propiedades de la membrana celular

Las propiedades de la membrana celular están intrínsecamente ligadas a su estructura y composición. Algunas de las propiedades más destacadas incluyen:

- **Fluidez:** La fluidez de la membrana es crucial para su funcionalidad, permitiendo la movilidad de proteínas y lípidos dentro de la bicapa.
- **Asimetría:** La distribución de lípidos y proteínas en la membrana no es uniforme, lo que da lugar a una asimetría funcional.
- **Autorreparación:** La membrana tiene la capacidad de repararse a sí misma después de ser dañada.
- **Reconocimiento Celular:** Las glicoproteínas y glicolípidos en la membrana participan en el reconocimiento celular, importante en la respuesta inmune y en la formación de tejidos.

Composición de la membrana celular

La membrana celular está compuesta principalmente por lípidos, proteínas y carbohidratos.



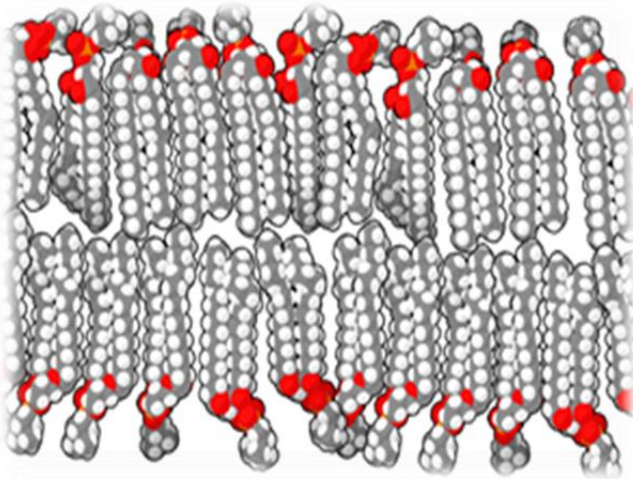
Fuente: Elaboración propia.

Lípidos: Incluyen fosfolípidos, colesterol y glicolípidos. Los fosfolípidos forman la estructura básica de la bicapa, el colesterol modula la fluidez y los glicolípidos participan en el reconocimiento celular.

Proteínas: Las proteínas de membrana se dividen en integrales y periféricas. Las integrales atraviesan la bicapa y participan en el transporte y señalización, mientras que las periféricas están asociadas a la superficie de la membrana y están involucradas en la estructura celular.

Carbohidratos: Los carbohidratos se encuentran unidos a lípidos y proteínas en la superficie externa de la membrana, formando glicocáliz, que participa en la protección celular y en el reconocimiento de células y moléculas.

Estabilidad de la bicapa lipídica



Fuente: Anton P Le Brun, 2024

La estabilidad de la bicapa lipídica es esencial para la integridad estructural y funcional de la membrana celular. La bicapa está compuesta por fosfolípidos, que tienen cabezas hidrofílicas y colas hidrofóbicas. Esta disposición crea una barrera semipermeable que separa el interior de la célula del

entorno externo. La estabilidad de la bicapa está influenciada por factores como la composición lipídica, la temperatura, y la presencia de colesterol. El colesterol, en particular, juega un papel crucial al estabilizar la bicapa al evitar que los fosfolípidos se dispersen a bajas temperaturas y que se compacten demasiado a altas temperaturas (Lodish et al., 2000).

Fluidez de la membrana

La fluidez de la membrana es una propiedad crucial que permite a la célula adaptarse a diferentes condiciones y realizar funciones esenciales como la difusión de proteínas y lípidos, la señalización celular y la fusión de membranas. La fluidez depende de la composición lipídica de la membrana, la presencia de colesterol y la temperatura.

De rotación

La fluidez de rotación se refiere al movimiento de las moléculas individuales de lípidos y proteínas alrededor de su eje. Este tipo de movimiento contribuye a la flexibilidad de la membrana y a la capacidad de las moléculas para interactuar entre sí en la bicapa (Alberts et al., 2002).

De difusión lateral

La difusión lateral es el movimiento de lípidos y proteínas dentro de la misma capa de la bicapa. Este tipo de fluidez es esencial para la distribución de

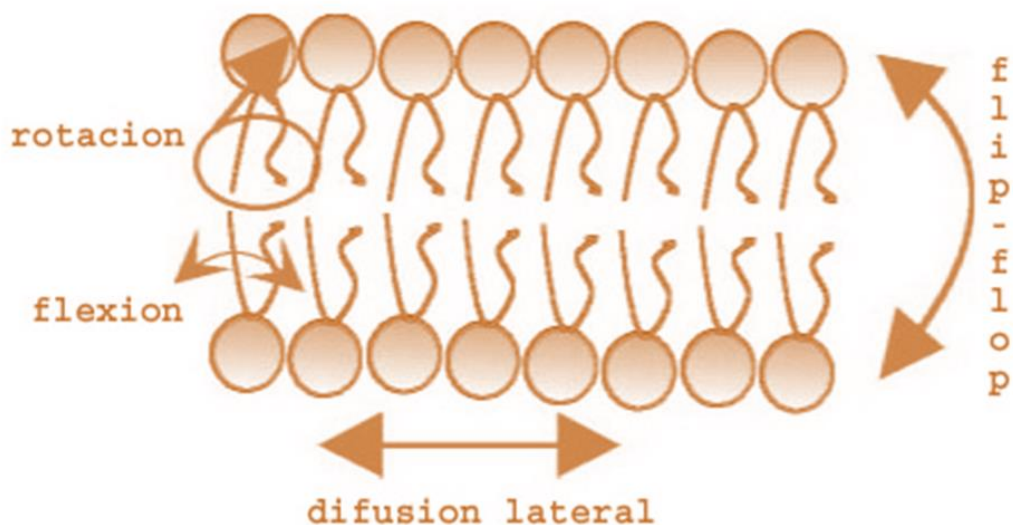
proteínas y la formación de microdominios funcionales dentro de la membrana (Singer & Nicolson, 1972).

Flip-flop

El movimiento flip-flop se refiere al salto de una molécula de lípido de una capa de la bicapa a la otra. Este tipo de movimiento es menos común debido a la barrera energética que presenta la bicapa, pero es crucial en procesos como la apoptosis y la renovación de la membrana (Lodish et al., 2000).

De flexión

La fluidez de flexión es el movimiento ondulatorio de la bicapa, que permite a la membrana adaptarse a cambios en la forma celular y facilita procesos como la endocitosis y la exocitosis. La flexibilidad de la membrana también es importante en la formación de vesículas y en la comunicación intracelular (Alberts et al., 2002).



Fuente: Elaboración propia.

Tipos de proteínas de membranas

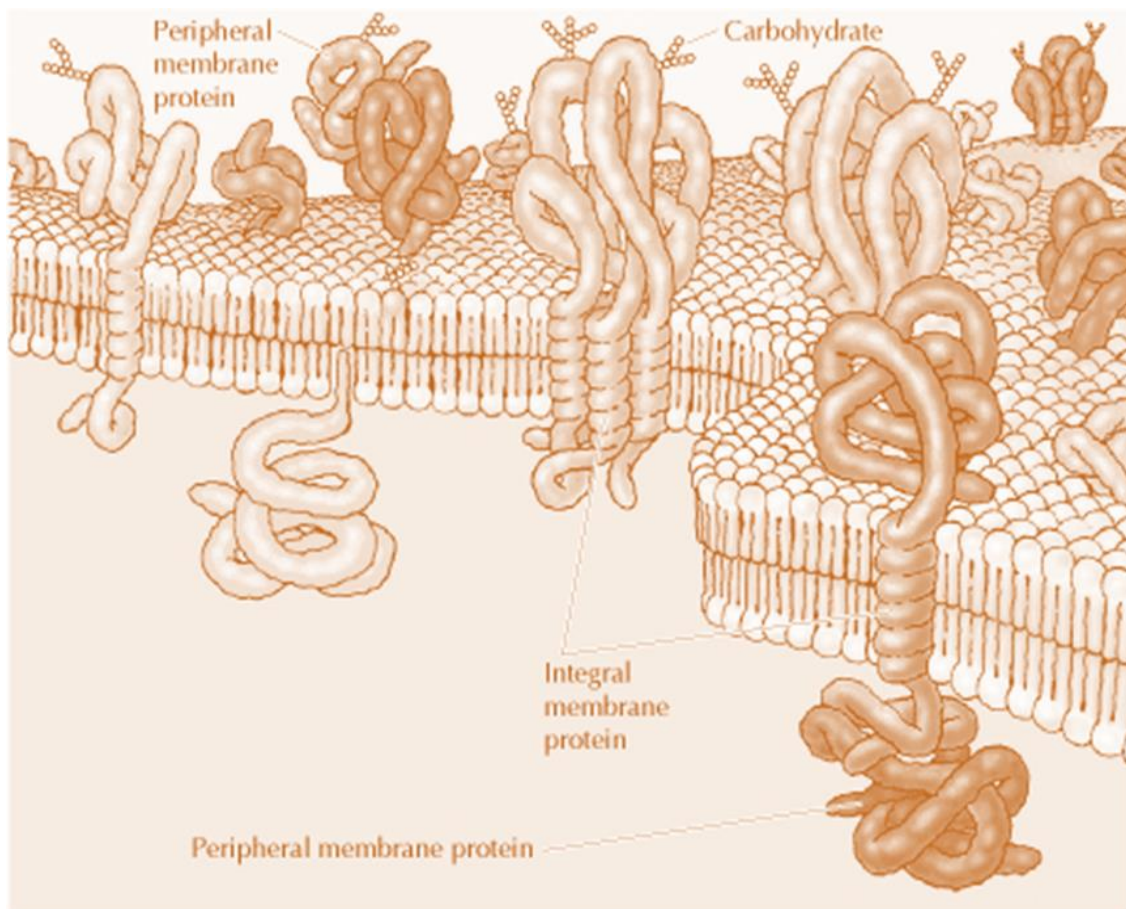
Las proteínas de membrana se clasifican en dos categorías principales: integrales y periféricas, cada una con funciones y características distintas.

Integrales

Las proteínas integrales, también conocidas como proteínas transmembrana, atraviesan completamente la bicapa lipídica. Estas proteínas desempeñan roles cruciales en el transporte de moléculas, la señalización celular, y la adhesión celular. Ejemplos incluyen canales iónicos, receptores de membrana y acuaporinas (Singer & Nicolson, 1972).

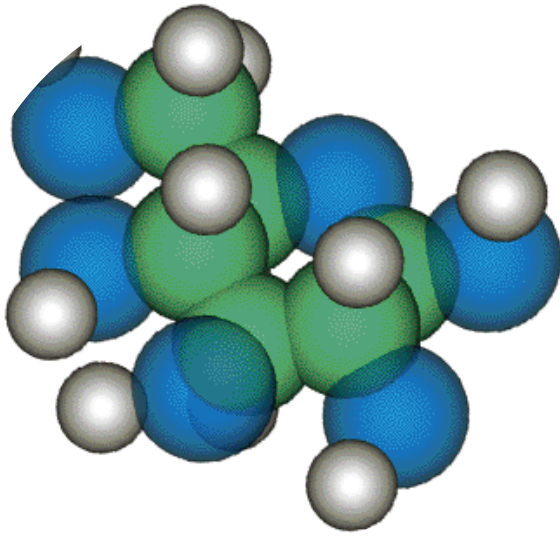
Periféricas

Las proteínas periféricas están asociadas a la superficie interna o externa de la bicapa lipídica, sin penetrar en su núcleo hidrofóbico. Estas proteínas suelen estar involucradas en la señalización celular, la estructura del citoesqueleto y la regulación de las actividades de las proteínas integrales. Las proteínas periféricas pueden interactuar con los lípidos o con otras proteínas de membrana (Lodish et al., 2000).



Fuente: Elaboración propia.

Glúcidos

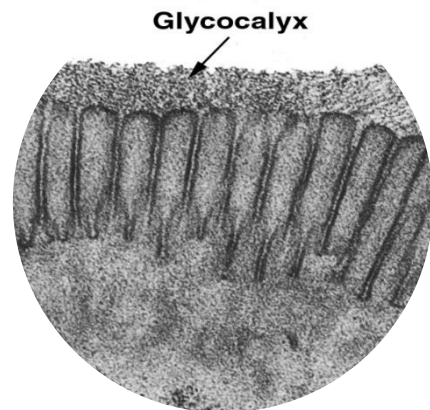


Los glúcidos en la membrana celular se encuentran principalmente como glucolípidos y glicoproteínas, que se proyectan hacia el exterior de la célula. Estos glúcidos desempeñan funciones cruciales en el reconocimiento celular, la protección de la membrana y la señalización celular. El glicocálix, una capa rica en

glúcidos en la superficie de las células, es esencial para la interacción célula-célula y la respuesta inmune (Alberts et al., 2002).

Función del glucocálix

El glucocálix es una estructura compuesta de glicoproteínas y glucolípidos que recubre la superficie externa de las células. Esta capa desempeña múltiples funciones vitales para la vida celular.



Protección

El glucocálix protege a la célula contra daños mecánicos y químicos al actuar como una barrera física. También ayuda a evitar la lisis celular al resistir fuerzas osmóticas externas (Alberts et al., 2002).

Inmunidad a la infección

El glucocálix juega un papel crucial en la inmunidad, ya que participa en el reconocimiento de patógenos y en la señalización para la respuesta inmune. Las células inmunes utilizan el glucocálix para identificar células propias y ajenas, lo que es esencial para evitar infecciones (Lodish et al., 2000).

Defensa contra el cáncer

En el contexto del cáncer, el glucocálix puede influir en el comportamiento de las células tumorales, facilitando o inhibiendo la metástasis. Las modificaciones en la estructura del glucocálix pueden afectar la adhesión celular y la invasión tumoral (Fukuda, 2002).

Compatibilidad de los trasplantes

El glucocálix es fundamental en la compatibilidad de los trasplantes, ya que las diferencias en las glicoproteínas y glucolípidos de superficie entre donante y receptor pueden desencadenar una respuesta inmune que cause el rechazo del trasplante (Daniels & Stamler, 2006).

Adherencia celular

El glucocálix facilita la adherencia de las células entre sí y con la matriz extracelular, lo que es crucial en la formación de tejidos y en la cicatrización de heridas (Alberts et al., 2002).

Fertilización

Durante la fertilización, el glucocálix de los gametos desempeña un papel en el reconocimiento y la unión de los espermatozoides con el óvulo, lo que es crucial para la fecundación exitosa (Lodish et al., 2000).

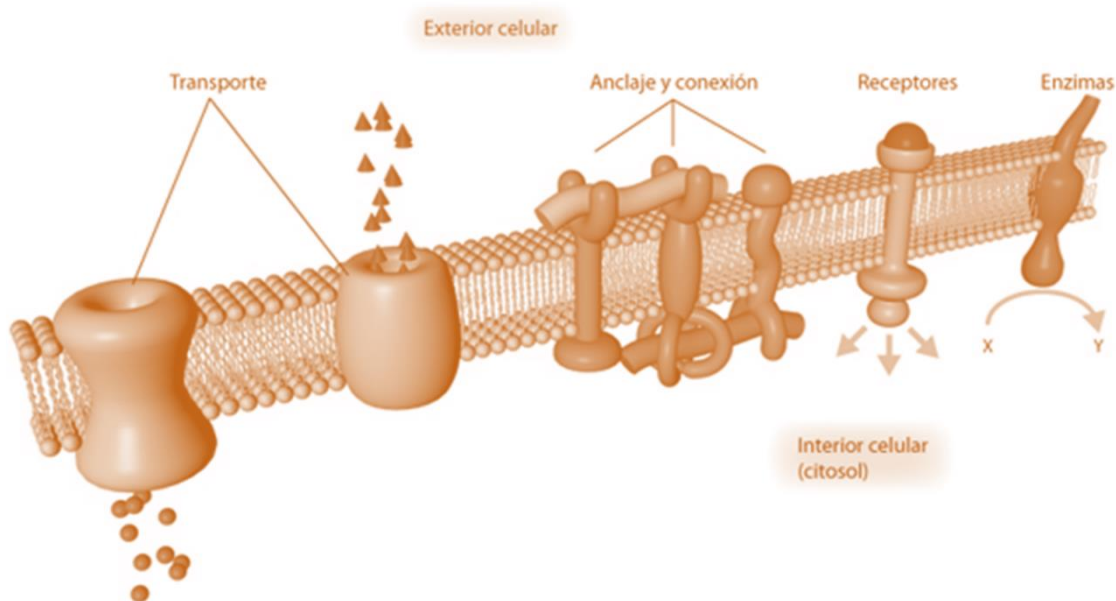
Desarrollo embrionario

El glucocálix también es importante en el desarrollo embrionario, ya que regula la señalización celular que guía la diferenciación y organización de las células en los tejidos y órganos del embrión en desarrollo (Alberts et al., 2002).

La membrana celular es una estructura esencial que desempeña un papel fundamental en la vida celular, protegiendo la integridad celular, facilitando la comunicación entre células, y regulando el transporte de sustancias. A lo largo de la historia, la comprensión de la membrana ha evolucionado desde las primeras observaciones microscópicas hasta los modelos moleculares avanzados, como el modelo de mosaico fluido. Además, la estabilidad de la

bicapa lipídica, la fluidez de la membrana, las proteínas de membrana, los glúcidos y el glucocálix, todos desempeñan roles vitales en la función celular. Este análisis destaca la importancia de la membrana celular en la biología moderna y cómo su estudio ha llevado a avances significativos en nuestra comprensión de la vida celular.

Permeabilidad de la membrana celular



Fuente: Elaboración propia.

La permeabilidad de la membrana es una característica clave que define su capacidad para permitir el paso de sustancias. Es semipermeable, lo que significa que permite el paso de algunas moléculas mientras bloquea otras. Esto se debe a la bicapa lipídica que es permeable a pequeñas moléculas no polares y a ciertos iones, mientras que las moléculas grandes y polares requieren mecanismos especiales para atravesar la membrana.

Factores que afectan la permeabilidad de la membrana

La permeabilidad de la membrana celular no es una característica fija, sino que está sujeta a diversas influencias que pueden alterar su capacidad para permitir o restringir el paso de moléculas. Estos factores incluyen la solubilidad de los lípidos, el tamaño y la carga de las moléculas, y la presencia de proteínas específicas como canales y transportadores.

Solubilidad de los lípidos

La bicapa lipídica de la membrana plasmática está compuesta principalmente de fosfolípidos, cuya naturaleza anfipática (cabezas hidrofílicas y colas hidrofóbicas) determina la permeabilidad de la membrana. Las moléculas que son solubles en lípidos, como los gases no polares (O_2 , CO_2) y las hormonas esteroides, pueden difundir fácilmente a través de la membrana debido a su capacidad para interactuar con la región hidrofóbica de la bicapa. En contraste, las moléculas polares o cargadas, como los iones y la glucosa, tienen dificultades para atravesar la bicapa lipídica sin la ayuda de proteínas específicas (Lodish et al., 2000). Esta diferencia en la solubilidad de los lípidos es un factor crucial que afecta la selectividad de la membrana y su función en la regulación del entorno interno de la célula.

Tamaño

El tamaño de las moléculas es otro factor determinante en la permeabilidad de la membrana. Las moléculas pequeñas, como el agua y los iones, pueden pasar a través de la membrana más fácilmente que las moléculas grandes como las proteínas. El tamaño no solo influye en la difusión simple, sino también en la capacidad de las moléculas para ser transportadas por proteínas específicas, ya que muchas proteínas de membrana tienen sitios de unión que son específicos para el tamaño y la forma de la molécula que transportan (Alberts et al., 2002). Por ejemplo, el transporte de aminoácidos y glucosa depende en gran medida de la especificidad de las proteínas transportadoras, que están diseñadas para reconocer y mover moléculas de un tamaño particular.

Carga de algunas proteínas

La carga de las proteínas y de las moléculas que interactúan con la membrana también juega un papel crucial en la permeabilidad. Las moléculas cargadas, como los iones, enfrentan una barrera significativa debido a la naturaleza hidrofóbica de la bicapa lipídica, lo que impide su difusión simple. Sin embargo, la presencia de canales iónicos y transportadores que están diseñados para mover iones específicos a través de la membrana permite que estas moléculas cargadas atraviesen la barrera lipídica (Hille, 2001). Estos canales son a menudo

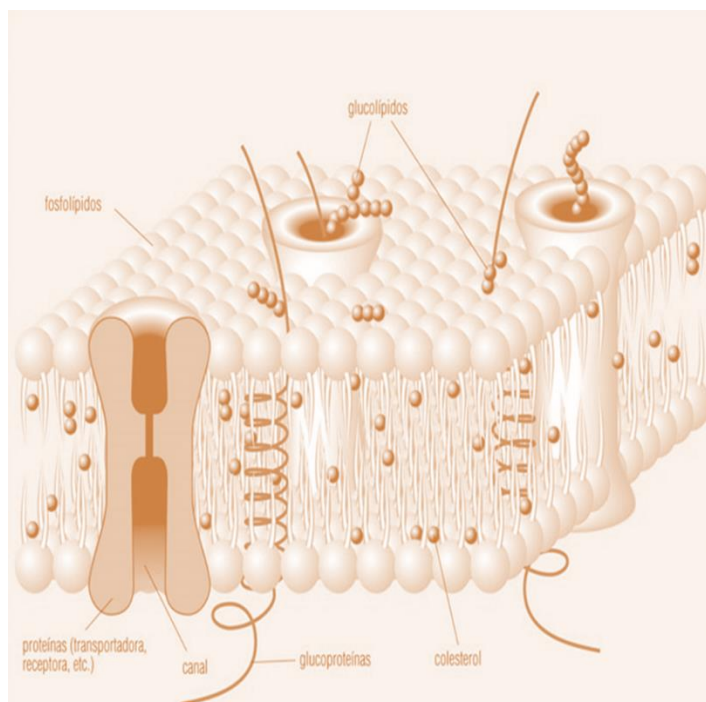
selectivos para iones específicos y su apertura puede ser regulada por factores como el voltaje, ligandos o la presión mecánica, lo que añade otra capa de control sobre la permeabilidad de la membrana.

Canales

Los canales de membrana son proteínas transmembrana que forman poros hidrofílicos a través de los cuales las moléculas pequeñas y los iones pueden moverse. Estos canales pueden ser específicos para ciertos iones o moléculas y su apertura puede ser regulada por diferentes estímulos, como cambios en el potencial de membrana o la unión de un ligando. Los canales iónicos, por ejemplo, son cruciales para la transmisión de señales eléctricas en las neuronas y para la regulación del volumen celular (Ashcroft, 2000). La presencia y regulación de estos canales afectan directamente la permeabilidad de la membrana, permitiendo un control preciso sobre el movimiento de moléculas e iones a través de la membrana.

Transportadoras

Las proteínas transportadoras, a diferencia de los canales, no forman poros continuos, sino que se unen a las moléculas que transportan, sufren un cambio conformacional, y luego liberan las moléculas al otro lado de la membrana. Este mecanismo es esencial para el transporte activo, donde las moléculas se mueven en contra de su gradiente de concentración utilizando energía en forma de ATP (Lodish et al., 2000). Las transportadoras son altamente específicas para las moléculas que mueven, lo que permite a la célula controlar con precisión la composición de su entorno interno, afectando así la permeabilidad de la membrana de manera significativa.



Fuente: Elaboración propia.

Propiedades fisicoquímicas de la membrana

Las propiedades fisicoquímicas de la membrana plasmática son fundamentales para su funcionamiento, afectando aspectos como la fluidez, la integridad estructural, y la capacidad de la membrana para interactuar con su entorno.

Fluidez de la membrana

La fluidez de la membrana es una propiedad esencial que permite a las proteínas y lípidos moverse lateralmente dentro de la bicapa. Esta movilidad es crucial para la función de muchas proteínas de membrana, incluyendo los receptores de señalización y las enzimas, y para la capacidad de la membrana de adaptarse a cambios en el volumen y la forma celular (Singer & Nicolson, 1972). La fluidez de la membrana está determinada principalmente por la composición de lípidos y la presencia de colesterol, que actúa como un regulador, manteniendo la fluidez dentro de un rango óptimo a diferentes temperaturas (Lodish et al., 2000).

Asimetría de la membrana

La bicapa lipídica es asimétrica, lo que significa que la composición de lípidos y proteínas en la capa interna de la membrana es diferente a la de la capa externa. Esta asimetría es crucial para la función de la membrana, ya que diferentes lípidos y proteínas están involucrados en distintos procesos celulares. Por ejemplo, los fosfolípidos cargados negativamente, como la fosfatidilserina, se encuentran predominantemente en la capa interna, donde participan en la señalización intracelular, mientras que los glucolípidos se encuentran en la capa externa y están involucrados en el reconocimiento celular y la adhesión (Alberts et al., 2002).

Permeabilidad selectiva

La membrana plasmática es selectivamente permeable, lo que significa que permite el paso de algunas moléculas mientras restringe el de otras. Esta selectividad es crucial para mantener la homeostasis celular, permitiendo la entrada de nutrientes y la salida de desechos, mientras que se retienen moléculas importantes dentro de la célula (Lodish et al., 2000). La permeabilidad selectiva está influenciada tanto por la estructura de la bicapa lipídica como por la presencia de proteínas específicas que facilitan el transporte de moléculas e iones a través de la membrana.

Capacidad de autoensamblaje

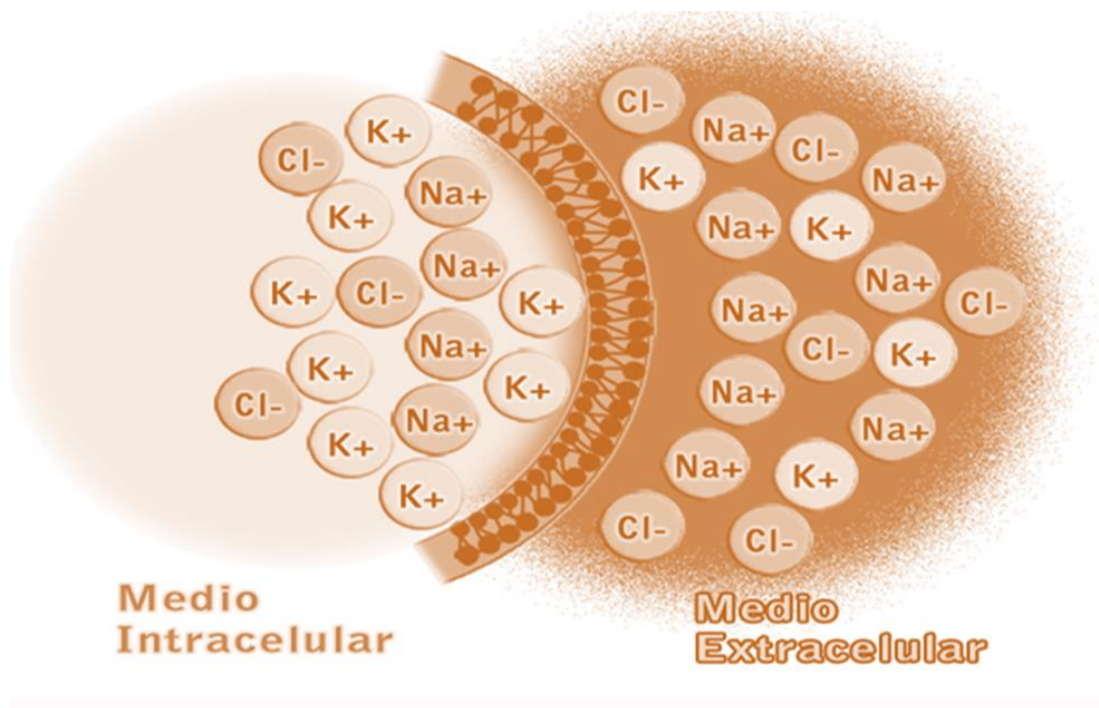
Una de las propiedades más notables de las membranas biológicas es su capacidad para autoensamblarse. Los fosfolípidos, debido a su naturaleza anfipática, pueden espontáneamente formar bicapas en un entorno acuoso, lo que es fundamental para la formación de membranas celulares y la reparación de daños en la membrana. Esta capacidad de autoensamblaje también es importante para la formación de vesículas y orgánulos intracelulares, que son esenciales para el transporte y la compartimentación dentro de la célula (Lodish et al., 2000).

Potencial de membrana

El potencial de membrana es la diferencia de voltaje a través de la membrana plasmática, que resulta de la distribución desigual de iones entre el interior y el exterior de la célula. Este potencial es crucial para muchas funciones celulares, incluyendo la transmisión de señales nerviosas, la contracción muscular, y la regulación del volumen celular.

Formación del potencial de membrana

El potencial de membrana se forma principalmente debido a la actividad de bombas iónicas, como la bomba de sodio-potasio (Na^+/K^+ ATPasa), que mantiene un alto nivel de potasio (K^+) dentro de la célula y un alto nivel de sodio (Na^+) fuera de la célula. Este gradiente iónico genera un potencial eléctrico a través de la membrana, conocido como el potencial de membrana en reposo, que suele ser negativo en el interior de la célula (Hille, 2001). Este potencial es fundamental para la excitabilidad de las células nerviosas y musculares, ya que permite la generación y propagación de potenciales de acción.



Fuente: Hille, 2001

Influencia del potencial de membrana en la permeabilidad

El potencial de membrana no solo es un resultado de la permeabilidad selectiva de la membrana, sino que también influye en ella. Los canales iónicos regulados por voltaje son un claro ejemplo de cómo el potencial de membrana puede afectar la permeabilidad. Estos canales se abren o cierran en respuesta a cambios en el potencial de membrana, permitiendo la entrada o salida de iones específicos, lo que puede despolarizar o repolarizar la célula (Ashcroft, 2000). Este mecanismo es esencial para la transmisión de señales eléctricas en el sistema nervioso y para la contracción muscular.

Potencial de acción

El potencial de acción es un cambio rápido y transitorio en el potencial de membrana que se propaga a lo largo de la membrana de las células excitables, como las neuronas. Este proceso es crucial para la transmisión de información en el sistema nervioso. Durante un potencial de acción, los canales de sodio regulados por voltaje se abren, permitiendo que los iones de sodio entren en la célula, lo que despolariza la membrana. Luego, los canales de potasio se abren para permitir la salida de potasio, repolarizando la membrana y restableciendo el potencial de reposo (Hille, 2001). Este ciclo de despolarización y repolarización es fundamental para la función nerviosa y muscular.

Papel del potencial de membrana en la homeostasis celular

El potencial de membrana también juega un papel clave en la homeostasis celular, ya que influye en la regulación del volumen celular y el equilibrio de iones y agua. Por ejemplo, la entrada de iones de sodio y la salida de potasio, regulada por el potencial de membrana, es crucial para mantener el volumen celular en condiciones fisiológicas (Ashcroft, 2000). Además, el potencial de membrana afecta la actividad de canales de calcio, que son importantes en la señalización intracelular y la liberación de neurotransmisores.

La permeabilidad de la membrana, sus propiedades fisicoquímicas y el potencial de membrana son aspectos interrelacionados que desempeñan roles cruciales en la función celular y la homeostasis. La solubilidad de los lípidos, el tamaño y la carga de las moléculas, y la presencia de canales y transportadores son

factores determinantes en la permeabilidad de la membrana. Las propiedades fisicoquímicas, como la fluidez, la asimetría y la capacidad de autoensamblaje, son esenciales para la integridad y funcionalidad de la membrana. Por último, el potencial de membrana es fundamental para la excitabilidad celular y la regulación del volumen celular. Juntos, estos elementos forman una red compleja pero coherente que sostiene la vida celular y permite la adaptación de las células a su entorno cambiante.

Línea de tiempo membrana celular

La membrana celular es una estructura vital que rodea todas las células, sirviendo como una barrera que regula el intercambio de sustancias entre el interior y el exterior celular. Desde finales del siglo XIX, la investigación científica ha proporcionado una comprensión progresiva de la composición, estructura y función de esta membrana. Esta investigación revisa los hitos históricos clave que han contribuido a nuestro conocimiento actual sobre la membrana celular, desde los primeros modelos propuestos hasta el desarrollo del modelo de mosaico fluido en 1972.

1888 - G. Quincke



En 1888, el físico alemán Georg Quincke realizó investigaciones que fueron fundamentales para el entendimiento de las membranas biológicas. Quincke estudió el comportamiento de los coloides y las soluciones, y sus experimentos sobre la difusión y el transporte de sustancias a través de membranas semipermeables sentaron las

bases para futuras investigaciones sobre la permeabilidad de las membranas celulares. Aunque su trabajo no estaba directamente enfocado en las membranas celulares, sus hallazgos sobre las propiedades de las membranas y su capacidad para permitir el paso de ciertas sustancias fueron cruciales para el desarrollo posterior de modelos de membranas (Quincke, 1888).

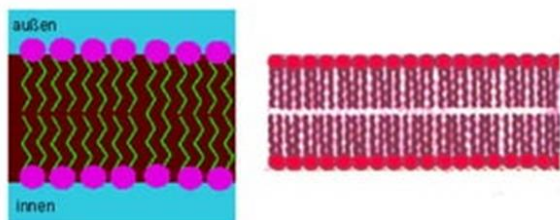
1902 - C. Overton

En 1902, el bioquímico alemán Wilhelm Friedrich Kühne y el fisiólogo Ernst Overton propusieron el concepto de la "capa limitante externa". Overton, en particular, fue pionero en la idea de que las membranas celulares son estructuras lipídicas que forman una capa que separa el interior celular del entorno externo.



Overton sugirió que las membranas celulares eran lipídicas por naturaleza y que sus propiedades de permeabilidad estaban relacionadas con la solubilidad de las sustancias en lípidos. Este concepto fue fundamental para el desarrollo de modelos posteriores de membranas, ya que estableció la idea de que las membranas no eran simplemente barreras pasivas, sino estructuras activas que influían en la difusión de las sustancias (Overton, 1902).

1925 - Gorter y Grendel

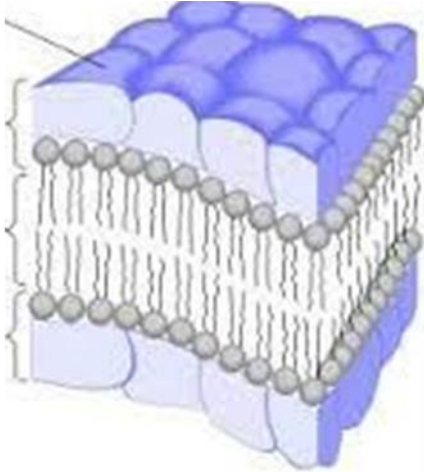


Fuente: Gorter & Grendel, 1925

En 1925, los biólogos holandeses Fritz Gorter y Francis Grendel realizaron un experimento crucial que cambió la comprensión de la estructura de la membrana celular.

Utilizando el método de la monomolecular de capa, Gorter y Grendel demostraron que la cantidad de lípidos en las membranas celulares era aproximadamente el doble de la cantidad esperada, sugiriendo que las membranas estaban formadas por una bicapa lipídica. Propusieron el modelo de la bicapa lipídica, que postulaba que las membranas celulares estaban formadas por dos capas de fosfolípidos con las colas hidrofóbicas hacia el interior y las cabezas hidrofílicas hacia el exterior. Este modelo fue un avance crucial en la biología celular, proporcionando una base para los modelos estructurales posteriores (Gorter & Grendel, 1925).

1935 - Davson y Danielli

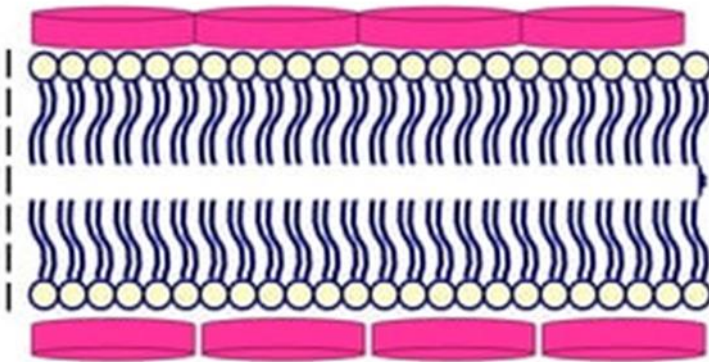


Fuente: Davson & Danielli, 1935

En 1935, el biólogo británico Hugh Davson y el fisiólogo británico James Danielli propusieron un modelo de membrana celular conocido como el modelo Davson-Danielli. Este modelo sugería que la bicapa lipídica propuesta por Gorter y Grendel estaba cubierta por una capa de proteínas en ambos lados, formando una estructura en capas. Según este modelo, la

bicapa lipídica estaba envuelta en proteínas que interactuaban con los lípidos, proporcionando una explicación para la permeabilidad selectiva de las membranas. Aunque el modelo Davson-Danielli fue un avance importante, más tarde se descubrió que no reflejaba completamente la realidad de la estructura de la membrana celular, ya que no explicaba adecuadamente la fluidez y la movilidad de las proteínas en la membrana (Davson & Danielli, 1935).

1960 - Robertson



Fuente: Robertson, 1960

En 1960, el biólogo estadounidense John Robertson introdujo el modelo de la "unidad de membrana". Robertson utilizó la microscopía electrónica para observar la estructura de las membranas celulares y

propuso que las membranas eran estructuras continuas y uniformes que se extendían alrededor de toda la célula. Su trabajo confirmó y amplió el modelo Davson-Danielli, mostrando que las membranas celulares eran estructuras delgadas y uniformes con una densidad de proteínas mayor en comparación con el modelo anterior. El modelo de Robertson fue un paso importante hacia la

comprensión de la estructura de la membrana, aunque aún no reflejaba completamente la complejidad de las membranas celulares (Robertson, 1960).

1964 - Lucy y Glubert

En 1964, los biólogos estadounidenses Jonathon L. Lucy y Charles Glubert realizaron investigaciones adicionales sobre la estructura de la membrana celular. Aunque sus trabajos no son tan conocidos como los de otros investigadores, sus estudios contribuyeron a la comprensión de la organización y la composición de las membranas celulares, enfocándose en la relación entre los lípidos y las proteínas en la membrana. Sus hallazgos proporcionaron datos adicionales que ayudaron a confirmar y refinar los modelos existentes, estableciendo una base para el desarrollo de modelos más avanzados en los años siguientes (Lucy & Glubert, 1964).

1965 - Kavanau

En 1965, el biólogo estadounidense William J. Kavanau realizó importantes contribuciones a la comprensión de la estructura de las membranas celulares mediante el estudio de las propiedades de las membranas en condiciones de baja temperatura. Kavanau demostró que las membranas celulares no solo eran estructuras lipídicas y proteicas, sino que también exhibían propiedades especiales en función de la temperatura, lo que afectaba la fluidez de la bicapa lipídica. Su trabajo fue crucial para el desarrollo del modelo de mosaico fluido, ya que proporcionó evidencia de que la fluidez de la membrana era una característica fundamental para su función (Kavanau, 1965).

1972 - Singer y Nicolson

En 1972, los biólogos estadounidenses Seymour J. Singer y Garth L. Nicolson propusieron el modelo de "mosaico fluido", que revolucionó la comprensión de la estructura de la membrana celular. Según este modelo, la membrana celular es una bicapa lipídica en la que las proteínas están incrustadas de manera no uniforme, formando un mosaico de proteínas y lípidos. Las proteínas pueden moverse lateralmente dentro de la bicapa lipídica, lo que contribuye a la fluidez de la membrana. El modelo de mosaico fluido explica la movilidad de las proteínas y lípidos en la membrana y proporciona una base sólida para la

comprensión de la función y la dinámica de las membranas celulares (Singer & Nicolson, 1972).

A lo largo de más de un siglo de investigación, la comprensión de la membrana celular ha evolucionado significativamente, desde los primeros conceptos de capas lipídicas hasta el sofisticado modelo de mosaico fluido. Cada descubrimiento ha contribuido a una visión más completa de la estructura y la función de la membrana celular, proporcionando una base sólida para la biología celular moderna. La línea de tiempo de la membrana celular destaca la importancia de la investigación continua y la colaboración científica en la construcción de nuestro conocimiento sobre esta estructura fundamental para la vida.

Transporte a Través de la Membrana

El transporte de sustancias a través de la membrana celular es un proceso crucial para la homeostasis y la funcionalidad de las células. La membrana celular, compuesta por una bicapa lipídica y proteínas integrales y periféricas, actúa como una barrera selectiva que regula el intercambio de sustancias entre el interior celular y el entorno extracelular. Este análisis interpretativo explora cómo las sustancias logran atravesar las membranas, los factores que influyen en el tipo de transporte utilizado y las diferentes modalidades de transporte, tanto pasivo como activo, y en masa.

Mecanismos de Transporte a Través de la Membrana

Las sustancias atraviesan las membranas celulares mediante varios mecanismos de transporte, que pueden clasificarse en transporte pasivo, activo y en masa. Estos mecanismos dependen de una serie de factores, como el coeficiente de permeabilidad, el gradiente de concentraciones, el tamaño de la molécula y su relativa liposolubilidad. A continuación, se examinan estos aspectos en detalle.

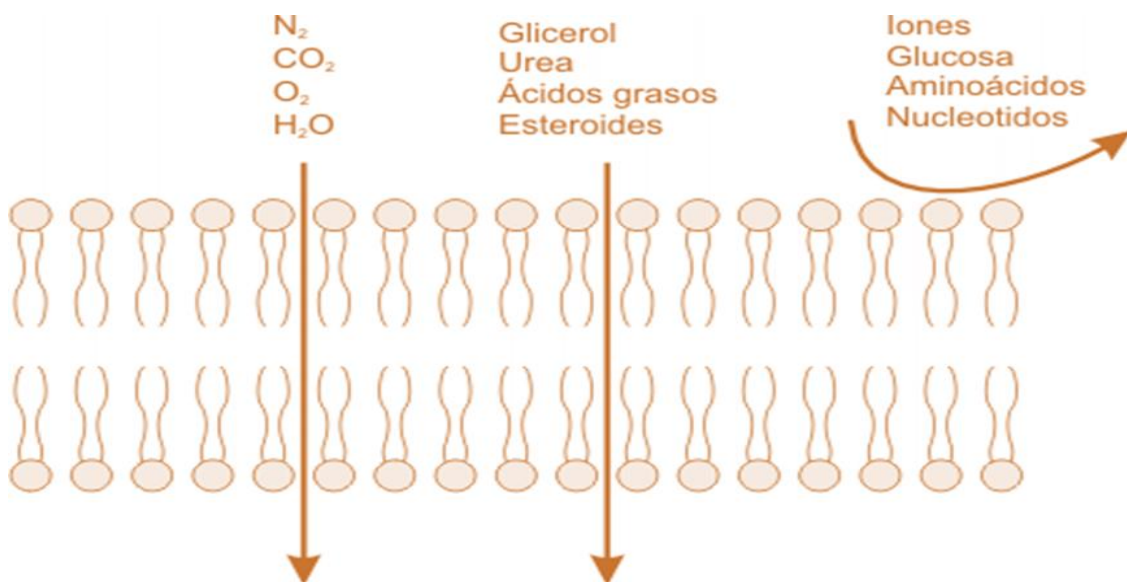
Factores que Influyen en el Tipo de Transporte Utilizado

El tipo de transporte utilizado por una sustancia para atravesar la membrana celular depende de varios factores clave:

Coeficiente de Permeabilidad: El coeficiente de permeabilidad es una medida de la facilidad con la que una sustancia atraviesa la membrana. Este coeficiente está influenciado por la interacción de la sustancia con la bicapa lipídica y las proteínas de membrana. Las sustancias lipofílicas (grasas o aceites) tienden a tener un alto coeficiente de permeabilidad, ya que pueden disolverse en la bicapa lipídica y atravesar la membrana sin ayuda (Murray et al., 2015).

Gradiente de Concentraciones: El gradiente de concentraciones es la diferencia en la concentración de una sustancia a través de la membrana. Las sustancias tienden a moverse desde áreas de alta concentración a áreas de baja concentración, un proceso conocido como difusión. El gradiente de concentración es un factor determinante en el transporte pasivo (Alberts et al., 2002).

Tamaño de la Molécula y su Relativa Liposolubilidad: Las moléculas grandes o altamente polares tienen más dificultades para atravesar la bicapa lipídica sin asistencia. Las moléculas pequeñas y lipofílicas pueden atravesar la membrana con mayor facilidad. La liposolubilidad de una molécula afecta su capacidad para difundir a través de la bicapa lipídica (Lodish et al., 2000).



Fuente: Elaboración propia.

Transporte Pasivo

El transporte pasivo no requiere energía y se basa en el movimiento de sustancias a favor de su gradiente de concentración. Los principales tipos de transporte pasivo son la difusión libre, la difusión facilitada y la ósmosis.

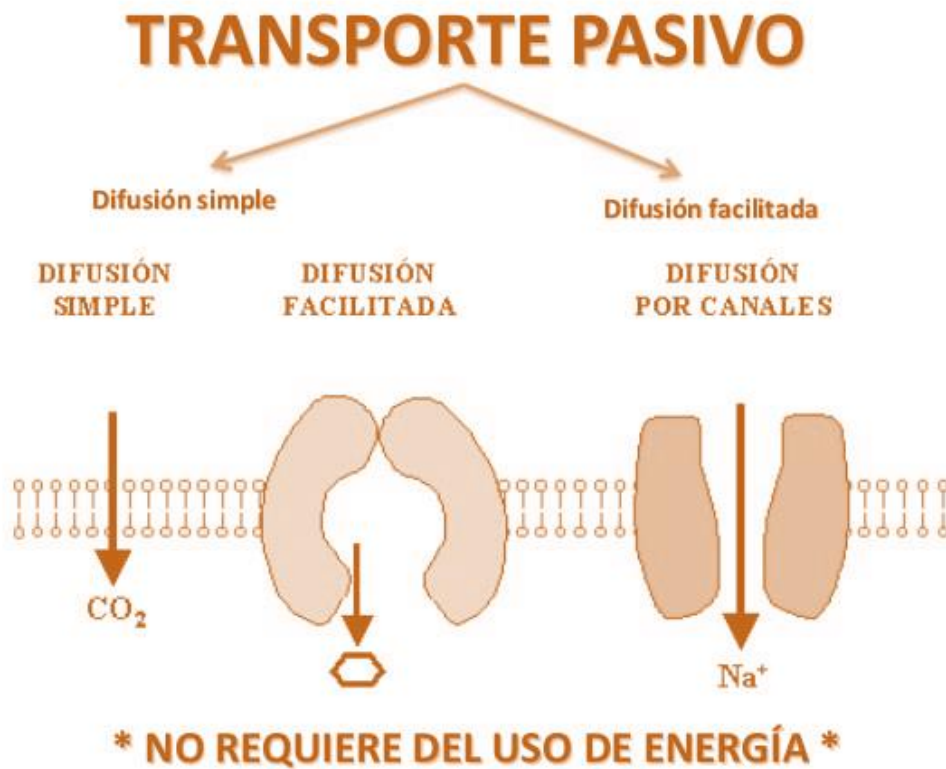
Difusión Libre (Simple): La difusión libre es el proceso por el cual las sustancias se mueven a través de la bicapa lipídica de la membrana celular sin la ayuda de proteínas de transporte. Este tipo de difusión ocurre para moléculas pequeñas y no polares, como el oxígeno y el dióxido de carbono, que pueden atravesar la membrana debido a su solubilidad en lípidos (Alberts et al., 2002).

Difusión Facilitada: La difusión facilitada implica el uso de proteínas de transporte específicas que facilitan el paso de moléculas grandes o polares a través de la membrana. Estas proteínas pueden ser canales o transportadores que permiten el paso de iones y moléculas como la glucosa, que no pueden atravesar la bicapa lipídica por sí solas (Lodish et al., 2000). Los canales de iones, como los de sodio y potasio, permiten el paso de iones específicos en respuesta a cambios en el potencial de membrana.

Ósmosis: La ósmosis es un tipo especializado de difusión que se refiere al movimiento de agua a través de una membrana semipermeable desde una región de baja concentración de solutos a una región de alta concentración de solutos. La ósmosis es fundamental para mantener el equilibrio hídrico dentro de la célula y puede ser observada en diferentes tipos de células, incluidas las células animales y vegetales (Murray et al., 2015).

Ósmosis Celular: En las células animales, la ósmosis puede llevar a la entrada o salida de agua, afectando el volumen celular. En soluciones hipertónicas, las células pierden agua y se encogen, mientras que en soluciones hipotónicas, las células ganan agua y pueden hincharse (Alberts et al., 2002).

Ósmosis en Membranas Vegetales: En las células vegetales, la ósmosis provoca la presión de turgencia, que mantiene la rigidez de las células vegetales. Las células vegetales tienen una pared celular que soporta la presión interna generada por la ósmosis (Lodish et al., 2000).



Fuente: Elaboración propia.

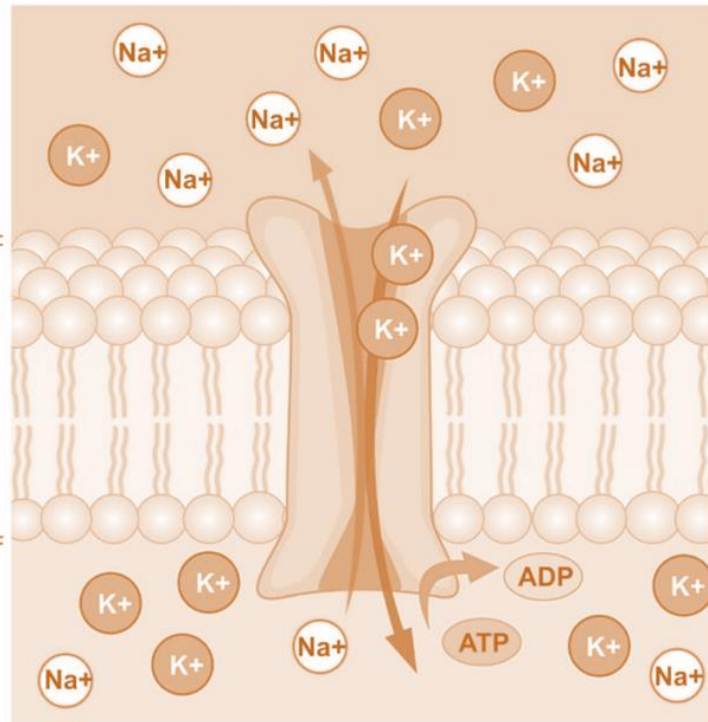
Transporte Activo

El transporte activo requiere energía para mover sustancias contra su gradiente de concentración. Este tipo de transporte es esencial para mantener concentraciones internas específicas de iones y otras sustancias.

Bomba Na⁺, K⁺: La bomba de sodio-potasio (Na⁺/K⁺ ATPasa) es una proteína de membrana que intercambia tres iones de sodio fuera de la célula por dos iones de potasio dentro de la célula, utilizando energía derivada de la hidrólisis de ATP. Este transporte activo es crucial para mantener el equilibrio de iones y el potencial de membrana en las células animales (Murray et al., 2015).

Bomba Ca⁺⁺: La bomba de calcio (Ca²⁺ ATPasa) transporta iones de calcio fuera de la célula o al retículo endoplásmico, utilizando ATP para mantener bajas concentraciones de calcio en el citosol. Este transporte es esencial para la regulación de la contracción muscular y la liberación de neurotransmisores (Alberts et al., 2002).

Transporte activo

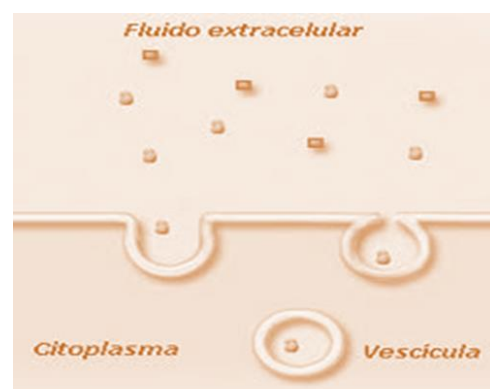


Fuente: Elaboración propia.

Transporte en Masa

El transporte en masa involucra la transferencia de grandes cantidades de material dentro o fuera de la célula mediante la formación de vesículas.

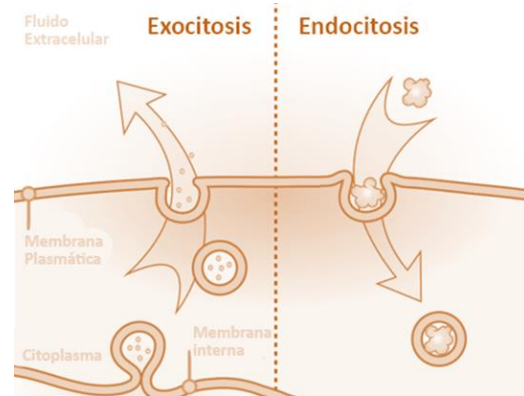
Endocitosis: La endocitosis es el proceso por el cual la célula engloba material del entorno extracelular mediante la formación de vesículas. Existen varios tipos de endocitosis:



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

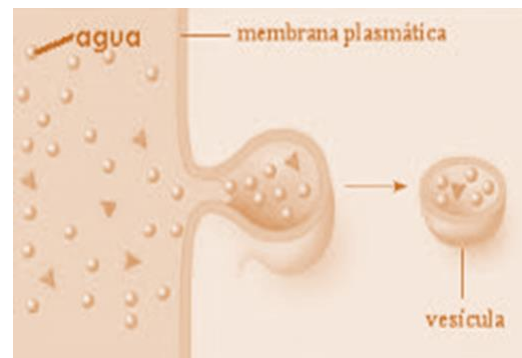


Fuente: Elaboración propia.

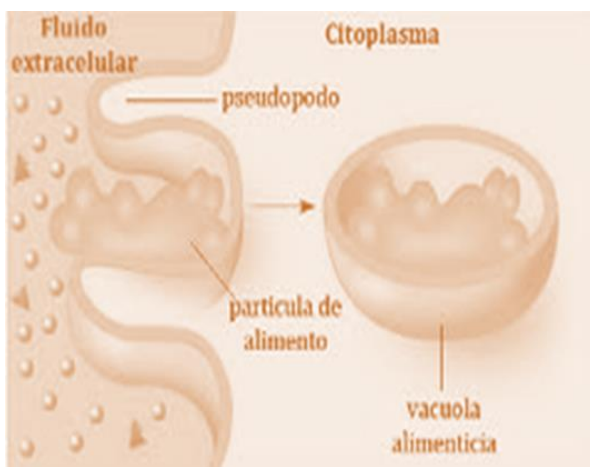
Endocitosis Mediadas por Receptor:

Este tipo de endocitosis permite a las células internalizar moléculas específicas que se unen a receptores en la superficie celular. Un ejemplo es la internalización de lipoproteínas de baja densidad (LDL) para la regulación del colesterol (Lodish et al., 2000).

Pinocitosis: La pinocitosis es el proceso mediante el cual la célula engulle líquido extracelular junto con sus solutos. Este tipo de endocitosis no está mediado por receptores y permite la captura de grandes volúmenes de fluido (Alberts et al., 2002).



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Fagocitosis: La fagocitosis es una forma de endocitosis en la que la célula engloba partículas grandes, como bacterias o restos celulares, formando fagosomas que luego se fusionan con lisosomas para la digestión (Murray et al., 2015).

Exocitosis: La exocitosis es el proceso por el cual la célula expulsa material al exterior mediante la fusión de vesículas con la membrana plasmática. Este proceso es esencial para la

liberación de neurotransmisores, hormonas y otros productos celulares (Lodish et al., 2000).

El transporte a través de la membrana celular es un proceso complejo y vital que asegura el equilibrio interno de la célula y su interacción con el entorno externo. Los diferentes mecanismos de transporte, incluyendo el transporte pasivo, activo y en masa, permiten a las células regular la entrada y salida de sustancias de manera eficiente. La comprensión de estos procesos es crucial para el estudio de la biología celular y la fisiología, proporcionando información esencial para el desarrollo de tratamientos médicos y la investigación biomédica.

Señales Eléctricas a Través de la Membrana Celular

Las señales eléctricas en las células son fundamentales para la comunicación y la función de numerosos tipos de células en organismos multicelulares. Estas señales son especialmente cruciales en células excitables, como las nerviosas y musculares, que utilizan cambios en el potencial de membrana para transmitir información y coordinar respuestas. En contraste, las células no excitables no generan potenciales de acción pero pueden mantener y regular gradientes iónicos que son esenciales para su función. Esta investigación explora los mecanismos detrás de las señales eléctricas en las células, con un enfoque en las propiedades eléctricas de células excitables y no excitables, el funcionamiento de los canales iónicos, y los fenómenos del potencial en reposo y el potencial de acción.

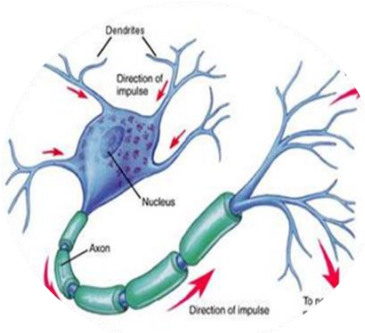
Propiedades Eléctricas de las Células

Las propiedades eléctricas de las células están determinadas por la distribución de iones a través de la membrana celular y el funcionamiento de diversos canales iónicos. Estas propiedades son cruciales para la generación y propagación de señales eléctricas en las células.

Células Excitables

Las células excitables, como las nerviosas y musculares, tienen la capacidad de generar y propagar potenciales de acción. Este fenómeno se debe a la actividad

de canales iónicos específicos y a la variación en la permeabilidad de la membrana a diferentes iones.

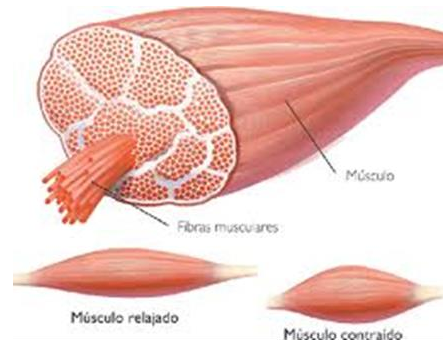


Fuente: Hodgkin & Huxley, 1952.

Células Nerviosas: Las neuronas utilizan señales eléctricas para transmitir información a lo largo de sus axones y entre sus sinapsis. La variación en el potencial de membrana es fundamental para la transmisión sináptica y la comunicación neuronal (Hodgkin & Huxley, 1952).

Células

Musculares: Las células musculares, tanto las esqueléticas como las cardíacas, dependen de señales eléctricas para la contracción. El potencial de acción en estas células inicia la contracción al liberar iones de calcio del retículo sarcoplásmico (Berg et al., 2002).



Fuente: Berg et al., 2002.

Células No Excitables

Las células no excitables, como las células epiteliales y la mayoría de las células del tejido conectivo, no generan potenciales de acción pero mantienen gradientes iónicos que son vitales para su función. Estas células pueden experimentar cambios en el potencial de membrana, pero estos cambios son generalmente menores en comparación con las células excitables (Hille, 2001).

Canales Iónicos

Los canales iónicos son proteínas de membrana que permiten el paso de iones a través de la membrana celular, facilitando la generación y propagación de señales eléctricas.

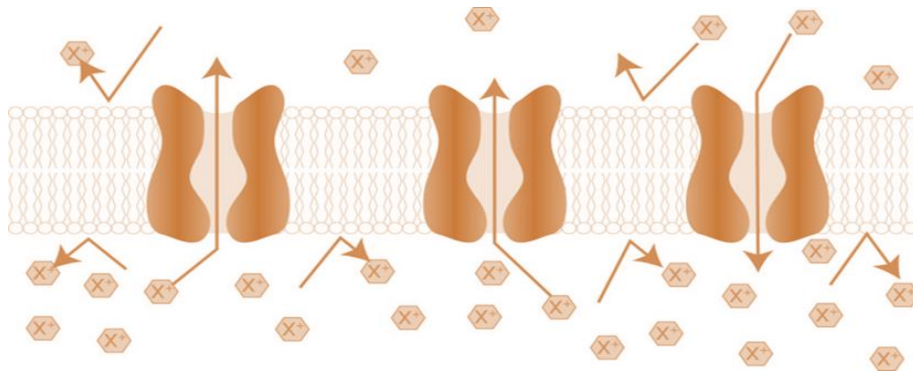
Canales Iónicos Pasivos

Los canales iónicos pasivos, también conocidos como canales de fuga, permiten el movimiento de iones a favor de sus gradientes de concentración sin requerir energía adicional. Estos canales están abiertos de manera continua o en

respuesta a cambios en el potencial de membrana y son cruciales para mantener el potencial de reposo (Hille, 2001).

Canales Iónicos Activos

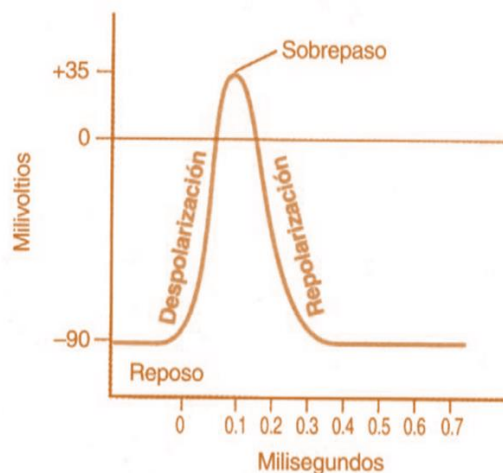
Los canales iónicos activos se abren o cierran en respuesta a estímulos específicos, como cambios en el potencial de membrana o la unión de ligandos. Estos canales son esenciales para la generación del potencial de acción y la transmisión de señales eléctricas (Hodgkin & Huxley, 1952). Ejemplos incluyen los canales de sodio y potasio que participan en la despolarización y repolarización durante el potencial de acción.



Fuente: Elaboración propia.

Potencial en Reposo

El potencial en reposo es el voltaje transmembrana de una célula en su estado no activado, y es crucial para la función de las células excitables.



Fuente: Elaboración propia.

Distribución Desigual de Iones

El potencial en reposo resulta de la distribución desigual de iones a través de la membrana celular. En particular, las concentraciones de iones de sodio (Na^+) y potasio (K^+) son diferentes dentro y fuera de la célula. En el interior de la célula, la concentración de K^+ es alta, mientras que en el exterior, la concentración de Na^+ es alta. La bomba Na^+/K^+ ATPasa mantiene estas concentraciones desiguales al intercambiar tres iones de Na^+ fuera de la célula por dos iones de K^+ dentro de la célula (Hille, 2001).

Permeabilidad Selectiva

La permeabilidad selectiva de la membrana celular también contribuye al potencial en reposo. La membrana es más permeable a K^+ que a Na^+ , permitiendo que los iones de potasio se muevan más libremente a través de los canales iónicos de fuga. Este desequilibrio en el movimiento iónico contribuye al potencial negativo en el interior de la célula en comparación con el exterior (Hodgkin & Huxley, 1952).

Potencial de Acción

El potencial de acción es un cambio rápido y transitorio en el potencial de membrana que se propaga a lo largo de las células excitables. Este proceso se divide en varias fases:

Fase de Reposo

Durante la fase de reposo, la célula mantiene un potencial de membrana negativo alrededor de -70 mV. La membrana está en equilibrio, con la bomba Na^+/K^+ ATPasa funcionando para mantener las concentraciones iónicas y los canales iónicos pasivos permitiendo el flujo continuo de iones (Hille, 2001).

Fase de Despolarización

La despolarización ocurre cuando un estímulo provoca la apertura de los canales de sodio dependientes de voltaje. Esto permite la entrada masiva de Na^+ en la célula, lo que hace que el potencial de membrana se vuelva positivo. Este cambio

positivo en el potencial de membrana se desplaza a lo largo de la célula, propagando el potencial de acción (Hodgkin & Huxley, 1952).

Fase de Repolarización

La repolarización sigue a la despolarización y es mediada por el cierre de los canales de sodio y la apertura de los canales de potasio dependientes de voltaje. La salida de K^+ de la célula restaura el potencial negativo en el interior de la célula, devolviendo el potencial de membrana a su estado de reposo. La repolarización asegura que el potencial de acción solo se propague en una dirección a lo largo del axón (Berg et al., 2002).

El transporte de señales eléctricas a través de la membrana celular es un proceso complejo que involucra la interacción de varios mecanismos y propiedades. Las células excitables, como las nerviosas y musculares, utilizan potenciales de acción para transmitir señales y coordinar respuestas, mientras que las células no excitables mantienen gradientes iónicos esenciales para su función. Los canales iónicos juegan un papel crucial en la regulación del potencial de membrana y en la generación de potenciales de acción. Comprender estos mecanismos es fundamental para la biología celular y para el desarrollo de tratamientos para enfermedades relacionadas con la disfunción de señales eléctricas.

SINAPSIS

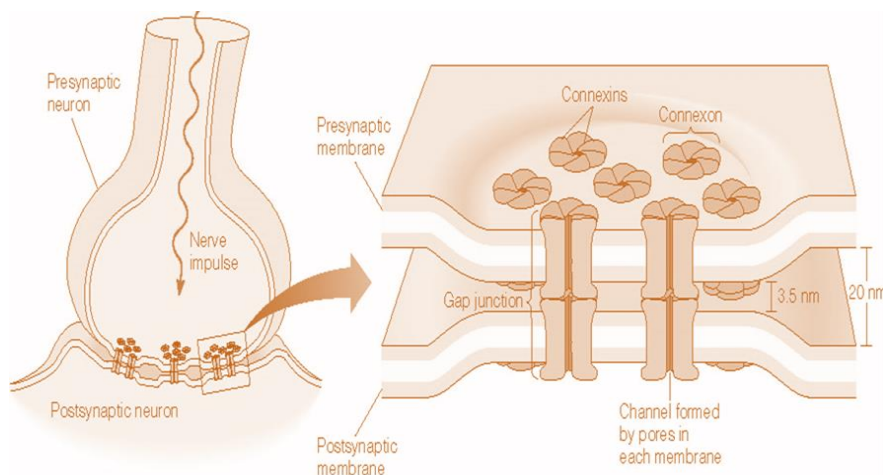


La sinapsis es una estructura fundamental en el sistema nervioso, permitiendo la comunicación entre las neuronas y, por ende, la transmisión de información a lo largo del cuerpo. Esta estructura es esencial para todas las funciones que dependen del sistema nervioso, desde los reflejos más simples hasta los procesos cognitivos más complejos. Las sinapsis se pueden clasificar principalmente en dos tipos: eléctricas y químicas, cada una con sus características específicas que determinan cómo se transmite la información.

Tipos de Sinapsis

Las sinapsis se clasifican en dos categorías principales: sinapsis eléctricas y sinapsis químicas. Estas dos formas de sinapsis funcionan de maneras diferentes, pero ambas son cruciales para el funcionamiento del sistema nervioso.

Sinapsis Eléctrica



Fuente: Elaboración propia.

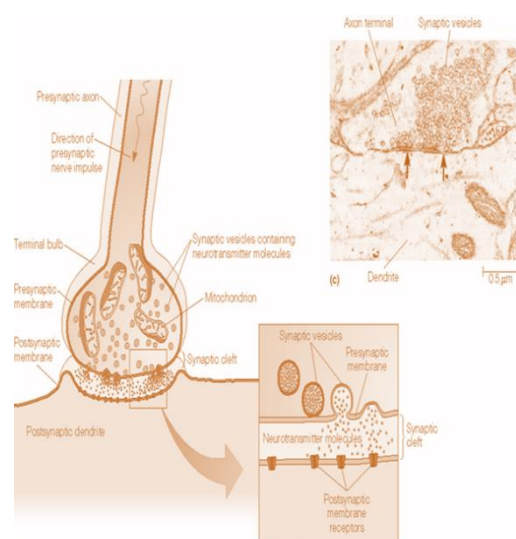
La sinapsis eléctrica es una forma de sinapsis donde las corrientes iónicas fluyen directamente de una célula a otra a través de uniones comunicantes, también conocidas como gap junctions. Estas uniones permiten que los iones pasen directamente entre las células, lo que resulta en una transmisión extremadamente rápida de señales eléctricas. Esta rapidez es crucial en situaciones que requieren una respuesta inmediata, como en la contracción del corazón o en reflejos rápidos. Las sinapsis eléctricas no solo permiten la velocidad, sino que también sincronizan la actividad de un grupo de células, como se observa en el músculo cardíaco y en algunos tipos de neuronas en el cerebro (Connors & Long, 2004).

Una característica distintiva de las sinapsis eléctricas es la bidireccionalidad de la señal. A diferencia de las sinapsis químicas, donde la señal se transmite en una sola dirección, las sinapsis eléctricas permiten el flujo de corriente en ambas direcciones. Esto es posible gracias a la estructura de las uniones comunicantes, que están compuestas por proteínas llamadas conexinas en vertebrados, o innexinas en invertebrados (Bennett & Zukin, 2004).

Las sinapsis eléctricas son menos comunes que las químicas en el sistema nervioso de los vertebrados, pero su función es crucial en ciertos tipos de tejidos, especialmente donde la rapidez y la sincronización son esenciales. Además, se ha descubierto que las sinapsis eléctricas pueden modularse, lo que indica que no son simplemente conductos pasivos, sino que pueden desempeñar roles más complejos en la señalización neuronal (Pereda, 2014).

Sinapsis Química

La sinapsis química, en contraste con la eléctrica, utiliza neurotransmisores (NT) para transmitir señales entre las células. Este tipo de sinapsis es más común en el sistema nervioso humano y es crucial para la mayoría de las funciones del cerebro, incluyendo el pensamiento, la memoria y el control motor. En una sinapsis química,



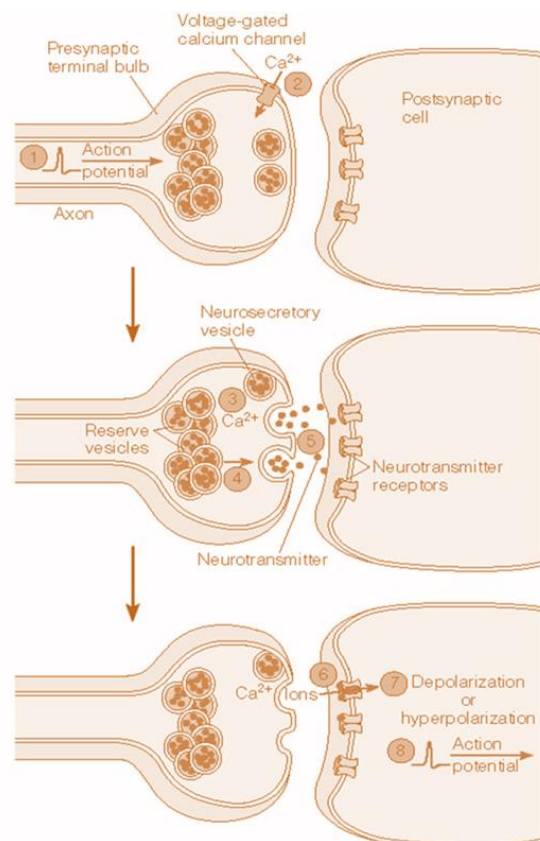
Fuente: Elaboración propia.

la señal se transmite a través de la liberación de NT desde la neurona presináptica, los cuales luego se unen a receptores específicos en la neurona postsináptica.

El proceso de transmisión en una sinapsis química es más lento que en una sinapsis eléctrica debido a la necesidad de que los NT se difundan a través de la hendidura sináptica, un espacio estrecho entre las células presináptica y postsináptica. Sin embargo, esta "lente" permite una mayor flexibilidad en la señalización, ya que la misma célula puede liberar diferentes NT en diferentes contextos, lo que puede tener efectos variados en las células receptoras (Katz, 2003).

Sinapsis Química: Liberación del Neurotransmisor (NT)

En una sinapsis química, la transmisión de la señal se inicia con la llegada de un potencial de acción a la terminal presináptica. Este evento desencadena la apertura de canales de calcio dependientes de voltaje, lo que permite la entrada de iones de calcio en la célula. El aumento de la concentración de calcio en la terminal presináptica es el desencadenante principal para la fusión de las vesículas sinápticas con la membrana plasmática, liberando su contenido de NT en la hendidura sináptica (Südhof, 2012).



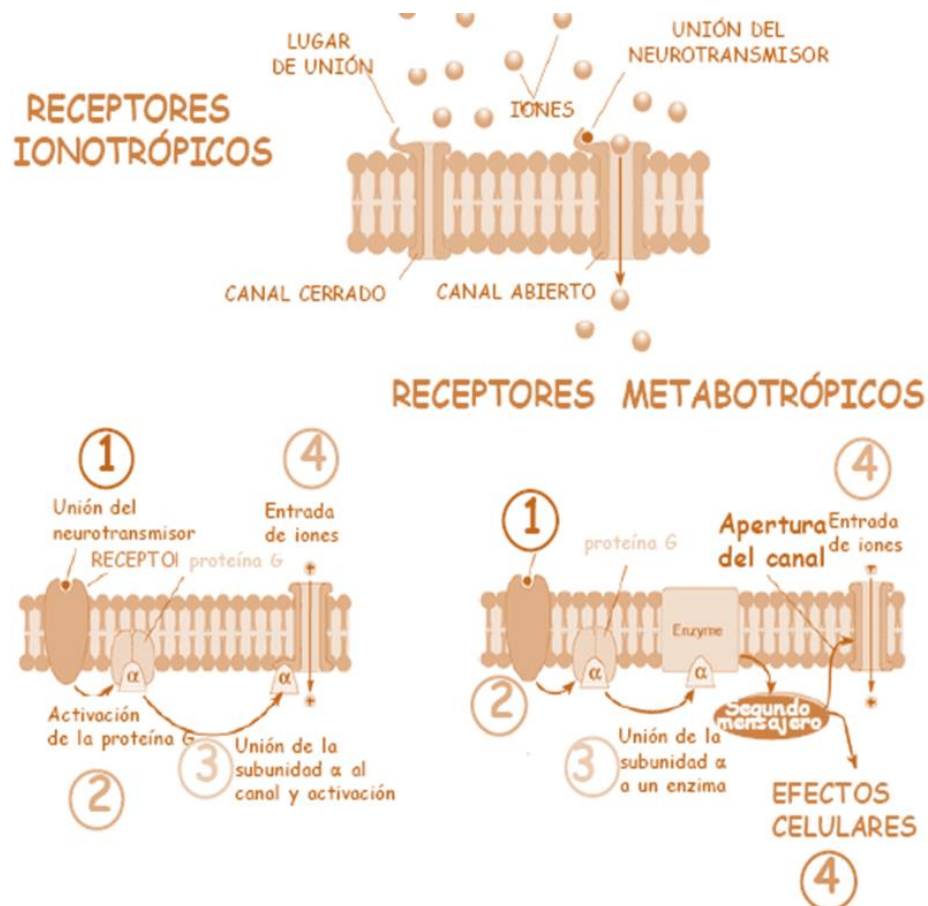
Fuente: Elaboración propia.

La liberación del NT es un proceso cuidadosamente regulado que depende de una serie de proteínas especializadas, como las sinaptotagminas, que actúan como sensores de calcio, y las SNAREs, que median la fusión de las vesículas. Este proceso es altamente eficiente, permitiendo que la señal química se libere rápidamente en respuesta a la llegada del potencial de acción.

Una vez en la hendidura sináptica, los NT difunden a través del espacio y se unen a los receptores en la membrana postsináptica. Este proceso es altamente específico, ya que los NT solo se unirán a los receptores que correspondan a su estructura química. La especificidad de la unión NT-receptor es clave para la precisión de la señalización en el sistema nervioso, permitiendo respuestas diferenciadas en función del tipo de receptor activado (Kandel, Schwartz, & Jessell, 2013).

Sinapsis Química: Unión del NT al Receptor

Una vez liberado en la hendidura sináptica, el NT se une a receptores específicos en la membrana postsináptica. Esta unión es un paso crucial que determina la respuesta de la neurona postsináptica. Los receptores son proteínas que atraviesan la membrana celular y, al unirse con el NT, desencadenan una serie de eventos intracelulares que conducen a la propagación de la señal.



Fuente: Elaboración propia.

La unión del NT al receptor puede desencadenar diferentes tipos de respuestas, dependiendo del tipo de receptor involucrado. Los dos principales tipos de receptores involucrados en la sinapsis química son los canales iónicos operados por ligando, también conocidos como receptores ionotrópicos, y los receptores acoplados a proteínas G, conocidos como receptores metabotrópicos.

Canales Iónicos Operados por Ligando: Receptores Ionotrópicos

Los receptores ionotrópicos son un tipo de receptor que actúa como un canal iónico. Cuando un NT se une a un receptor ionotrópico, este receptor cambia de forma, permitiendo que iones específicos atraviesen la membrana celular. Este movimiento de iones genera un cambio en el potencial eléctrico de la membrana, lo que puede desencadenar un nuevo potencial de acción en la neurona postsináptica.

La rapidez de los receptores ionotrópicos es crucial para las respuestas rápidas en el sistema nervioso. Por ejemplo, el receptor NMDA, un tipo de receptor ionotrópico que se activa con el NT glutamato, juega un papel esencial en la plasticidad sináptica y la memoria, al permitir la entrada de calcio, un segundo mensajero clave en muchas rutas de señalización intracelular (Traynelis et al., 2010).

Sin embargo, los receptores ionotrópicos no son responsables de la modulación más lenta y prolongada de la actividad neuronal; este es el dominio de los receptores metabotrópicos.

Receptores Acoplados a Proteínas G: Receptores Metabotrópicos

Los receptores metabotrópicos son un tipo de receptor que no actúa directamente como un canal iónico, sino que está acoplado a una proteína G, una proteína que transduce señales al interior de la célula. Cuando un NT se une a un receptor metabotrópico, activa la proteína G, que a su vez puede activar o inhibir otras proteínas en la célula, como canales iónicos, enzimas o vías de señalización intracelular.

Este tipo de señalización es más lento que la señalización ionotrópica, pero tiene la ventaja de amplificar la señal y de poder influir en una amplia gama de

procesos celulares. Los receptores metabotrópicos están involucrados en funciones neurológicas más complejas, como la regulación del estado de ánimo, la percepción del dolor y la modulación del sistema inmune. Un ejemplo de receptor metabotrópico es el receptor de dopamina D2, que está implicado en el control motor y es un objetivo de los medicamentos utilizados para tratar enfermedades como el Parkinson (Beaulieu & Gainetdinov, 2011).

Las sinapsis, ya sean eléctricas o químicas, son esenciales para la función del sistema nervioso. La sinapsis eléctrica permite una transmisión rápida y sincronizada de señales, mientras que la sinapsis química ofrece una mayor flexibilidad y especificidad en la señalización. La liberación de neurotransmisores y su unión a receptores en la sinapsis química es un proceso complejo que permite una amplia gama de respuestas fisiológicas. Los receptores ionotrópicos y metabotrópicos, cada uno con sus características únicas, juegan roles críticos en la transmisión de señales en el sistema nervioso, subrayando la diversidad y sofisticación de los mecanismos neuronales que subyacen a la función cerebral.

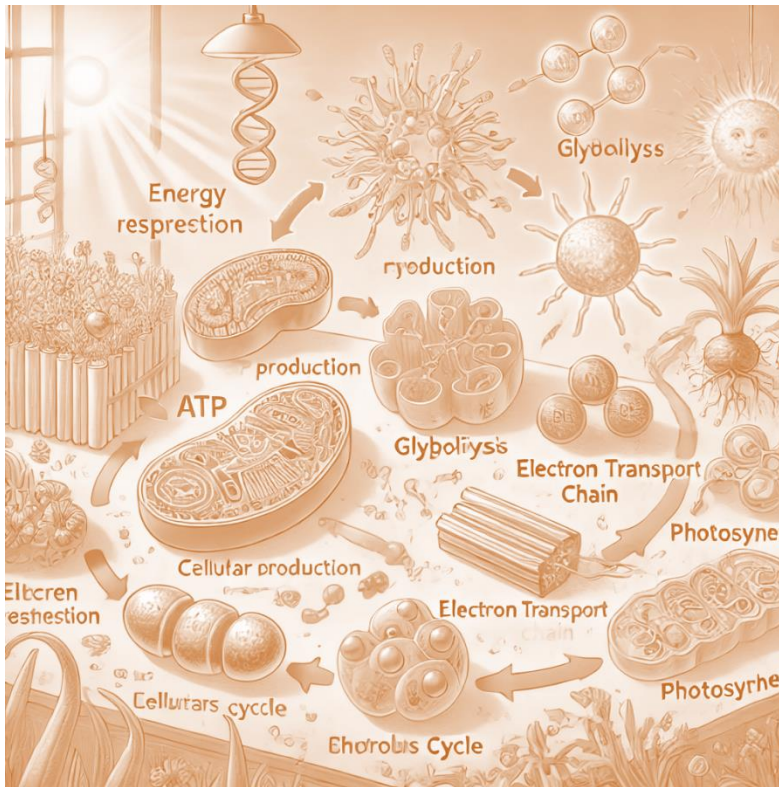


UNIDAD IV

Síntesis Energética.

UNIDAD IV

SÍNTESIS ENERGÉTICA



La energía es un concepto fundamental en la biología, ya que es esencial para todas las actividades y procesos que ocurren en los organismos vivos. Desde el movimiento y la reproducción hasta el crecimiento y la reparación, la energía es la fuerza impulsora que sostiene la vida.

La energía se define

como la capacidad para realizar trabajo, y en los sistemas biológicos, se manifiesta de diferentes maneras. Los organismos han evolucionado para utilizar y transformar la energía de maneras que les permitan sobrevivir, adaptarse y prosperar en diversos entornos. A continuación, se presentan los diferentes tipos de energía que son de particular importancia en los sistemas biológicos.

Energía Radiante: La energía radiante es la energía que se transmite en forma de ondas electromagnéticas, como la luz solar. En el contexto biológico, la energía radiante es fundamental para los organismos fotosintéticos, como las plantas, las algas y algunas bacterias. Estos organismos capturan la energía de la luz solar y la convierten en energía química a través del proceso de fotosíntesis. Este proceso es crucial no solo para los organismos fotosintéticos, sino también para los ecosistemas en general, ya que la energía almacenada en

las moléculas orgánicas producidas durante la fotosíntesis es la base de la cadena alimentaria.

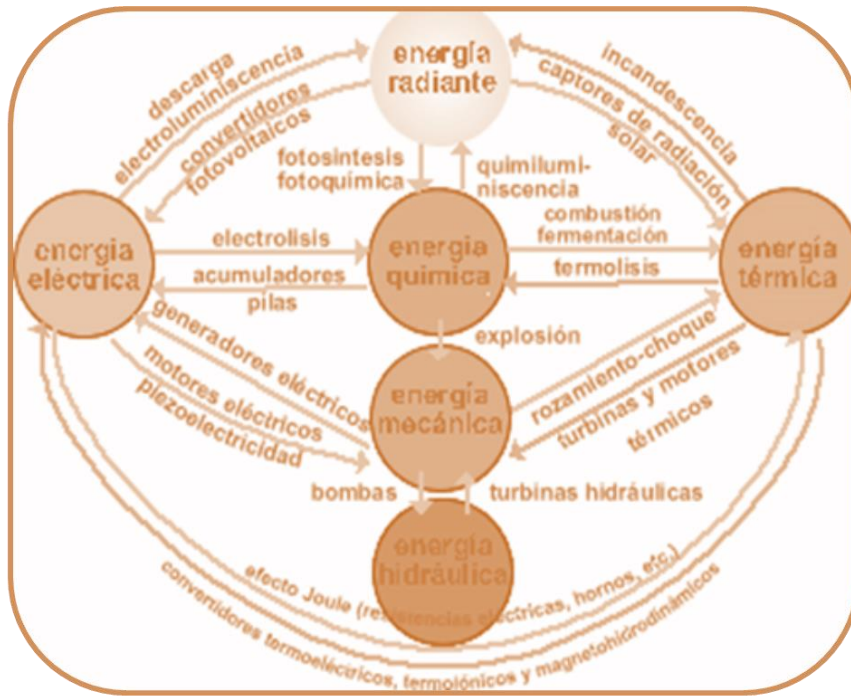
Energía Química: La energía química es la energía almacenada en los enlaces químicos de las moléculas. En los organismos vivos, esta energía se almacena principalmente en moléculas como el ATP (adenosín trifosfato), que es la principal fuente de energía para la mayoría de las reacciones celulares. La energía química es liberada cuando los enlaces químicos se rompen durante las reacciones químicas, y esta energía liberada se utiliza para llevar a cabo una variedad de funciones celulares, como la contracción muscular, la transmisión de señales nerviosas y la síntesis de macromoléculas.

Energía Mecánica: La energía mecánica es la energía asociada con el movimiento o la posición de un objeto. En los organismos vivos, la energía mecánica se manifiesta en procesos como el movimiento de los músculos, el flujo de sangre en el sistema circulatorio y el movimiento de organelos dentro de las células. La conversión de energía química en energía mecánica es esencial para la locomoción, la digestión y otras funciones vitales.

Energía Hidráulica: Aunque la energía hidráulica se asocia comúnmente con la energía generada por el movimiento del agua, en los sistemas biológicos, este concepto puede aplicarse al flujo de líquidos dentro de los organismos, como el transporte de agua y nutrientes a través del xilema en las plantas o la circulación sanguínea en los animales. El flujo de agua es crucial para el transporte de nutrientes y desechos, así como para mantener la turgencia celular en las plantas.

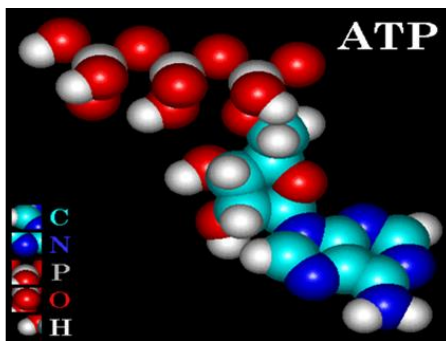
Energía Eléctrica: La energía eléctrica en los organismos vivos se refiere al movimiento de iones a través de las membranas celulares, lo que genera potenciales eléctricos. Esta energía es fundamental para la función de las neuronas y las células musculares. Los impulsos nerviosos son esencialmente corrientes eléctricas que se propagan a lo largo de las neuronas, permitiendo la comunicación entre diferentes partes del cuerpo y la coordinación de respuestas a estímulos.

Energía Térmica: La energía térmica es la energía que se transfiere como calor. En los organismos vivos, mantener una temperatura adecuada es esencial para el funcionamiento óptimo de las enzimas y otros procesos metabólicos. Los organismos endotérmicos, como los mamíferos y las aves, generan energía térmica a través del metabolismo para mantener una temperatura corporal constante, mientras que los ectotermos, como los reptiles, dependen de fuentes externas de calor para regular su temperatura corporal.



Fuente: Elaboración propia.

El ATP (Adenosín Trifosfato)



Fuente: Bustos, González y Pérez, 2020.

El ATP (adenosín trifosfato) es la principal molécula portadora de energía en todas las células vivas. Actúa como una especie de "moneda energética", capaz de almacenar y liberar energía para diversas funciones celulares. La estructura del ATP está compuesta por tres componentes principales: una base nitrogenada (adenina), un azúcar de cinco carbonos (ribosa) y tres grupos

fosfato. Los enlaces entre los grupos fosfato, especialmente entre el segundo y el tercer fosfato, son de alta energía y se rompen fácilmente para liberar energía.

La función principal del ATP es suministrar energía a las células. Este proceso ocurre cuando el ATP se hidroliza, es decir, cuando se rompe uno de sus enlaces fosfato. Esta reacción libera una cantidad significativa de energía, que las células utilizan para realizar trabajo. El ATP es esencial en procesos como la síntesis de proteínas, la contracción muscular, la transmisión de impulsos nerviosos y el transporte activo de moléculas a través de las membranas celulares.

Estructura del ATP

La estructura del ATP es clave para su función como molécula energética. El ATP está compuesto por tres partes: una base nitrogenada llamada adenina, un azúcar de cinco carbonos llamado ribosa y tres grupos fosfato unidos en cadena. La adenina y la ribosa juntas forman una molécula de adenosina, a la cual se unen los tres grupos fosfato. Los enlaces entre estos grupos fosfato, conocidos como enlaces fosfoanhídridos, son ricos en energía.

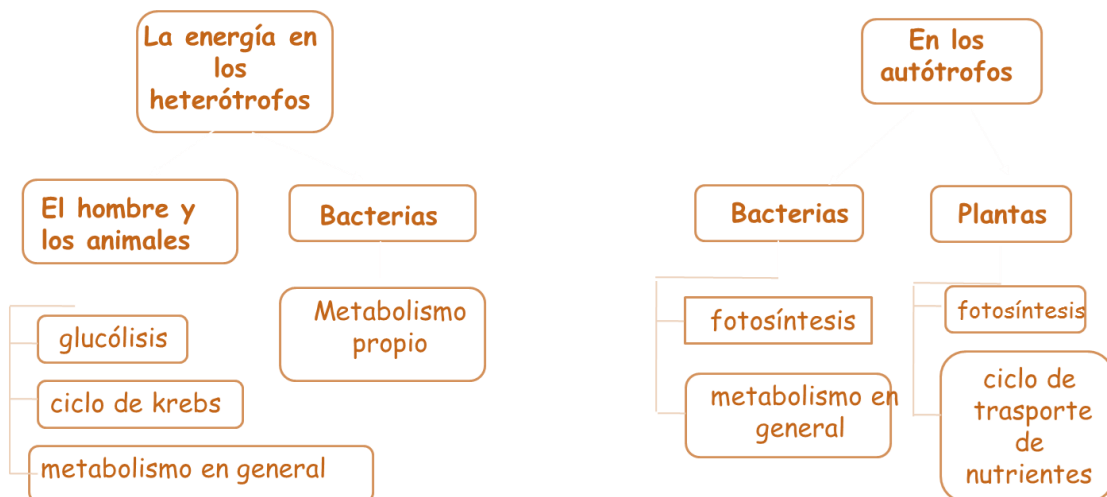
El enlace entre el segundo y el tercer grupo fosfato es particularmente inestable y, por lo tanto, fácil de romper. Cuando este enlace se rompe, se libera una cantidad significativa de energía, y el ATP se convierte en ADP (adenosín difosfato) y un fosfato inorgánico (Pi). Este proceso de hidrólisis es reversible, lo que significa que el ADP puede ser reconvertido en ATP mediante la adición de un fosfato inorgánico en un proceso impulsado por la energía liberada de otras reacciones químicas, como la respiración celular.

Transformación de la Energía

La transformación de energía es un proceso fundamental en la biología. Los organismos vivos han desarrollado mecanismos para convertir la energía de una forma a otra, permitiendo así la realización de diversas funciones vitales. En las plantas y otros organismos fotosintéticos, la energía radiante del sol se convierte en energía química durante la fotosíntesis. Este proceso implica la captura de la luz solar por pigmentos como la clorofila, la cual utiliza la energía para transformar dióxido de carbono y agua en glucosa y oxígeno.

En los organismos heterótrofos, como los animales, la energía química almacenada en los alimentos se convierte en ATP durante la respiración celular. La respiración celular es un proceso complejo que ocurre en las mitocondrias y que involucra la oxidación de moléculas orgánicas, como la glucosa, para producir ATP. Este ATP es luego utilizado por las células para realizar trabajo, como la síntesis de proteínas, el transporte de sustancias a través de membranas y la contracción muscular.

Además de la fotosíntesis y la respiración celular, existen otros procesos de transformación de energía en los organismos vivos. Por ejemplo, las bacterias quimiolitótrofas obtienen energía mediante la oxidación de compuestos inorgánicos, como el sulfuro de hidrógeno o el amoníaco. Esta energía se utiliza para producir ATP, que luego impulsa reacciones químicas en la célula.



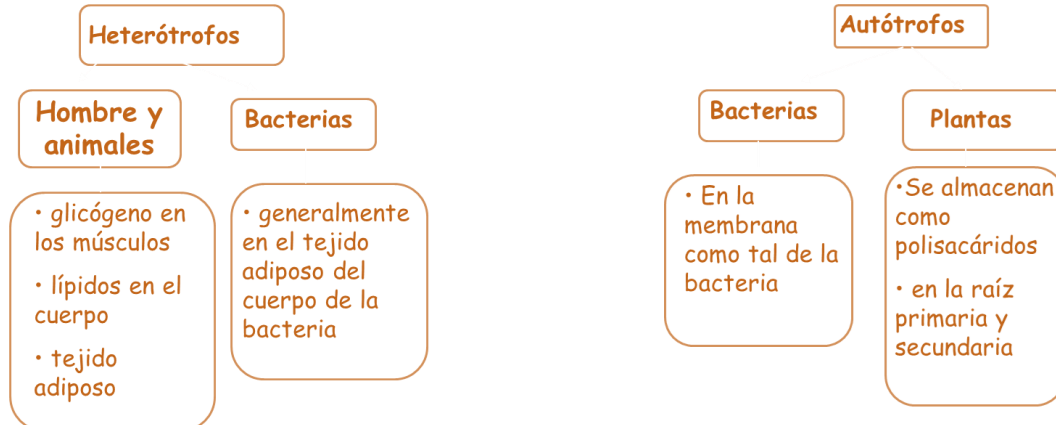
Fuente: Elaboración propia.

La Energía en los Heterótrofos y Autótrofos

Los organismos heterótrofos, como los animales y muchas bacterias, dependen de fuentes externas de materia orgánica para obtener energía. En los animales, los nutrientes de los alimentos se descomponen en moléculas más pequeñas, como la glucosa, que luego se oxidan para producir ATP en las mitocondrias. Este ATP es utilizado para llevar a cabo funciones celulares vitales, como el movimiento muscular, la síntesis de proteínas y la regulación del metabolismo.

En las bacterias heterótrofas, el proceso de obtención de energía puede variar dependiendo de la especie. Algunas bacterias obtienen energía a través de la fermentación, un proceso anaeróbico en el que la glucosa se convierte en ácido láctico o etanol, produciendo ATP en el proceso. Otras bacterias utilizan la respiración aeróbica, similar a los animales, para oxidar moléculas orgánicas y producir ATP.

Por otro lado, los organismos autótrofos, como las plantas, las algas y algunas bacterias, son capaces de producir su propia energía a partir de fuentes inorgánicas. En las plantas, la energía se obtiene a través de la fotosíntesis, un proceso que convierte la energía luminosa en energía química en forma de glucosa. Las bacterias fotosintéticas, como las cianobacterias, también utilizan la luz solar para producir energía, aunque el proceso puede diferir en detalles específicos. Además, algunas bacterias autótrofas, conocidas como quimiolitótrofas, obtienen energía oxidando compuestos inorgánicos en lugar de utilizar la luz solar. Esta energía se utiliza para producir ATP, que luego impulsa las funciones celulares.



Fuente: Elaboración propia.

Almacenamiento de la Energía

El almacenamiento de energía es una necesidad crítica para todos los organismos vivos, ya que les permite sobrevivir durante períodos en los que las fuentes de energía externa no están disponibles. En los heterótrofos, la energía se almacena principalmente en forma de glucógeno en los animales y en forma de almidón en las plantas. En los animales, el glucógeno se almacena en el

hígado y los músculos y se descompone en glucosa cuando el cuerpo necesita energía. Además, la energía también se almacena en forma de grasa en el tejido adiposo, que puede ser descompuesta en ácidos grasos y glicerol para su uso como energía durante períodos de ayuno.

En las bacterias, la energía se puede almacenar en diferentes formas, dependiendo del tipo de bacteria. Algunas bacterias almacenan energía en forma de polímeros de polisacáridos, similares al glucógeno, mientras que otras pueden almacenar lípidos o polihidroxialcanoatos (PHA), que son polímeros de almacenamiento de energía. Estos compuestos pueden ser metabolizados para producir energía cuando las condiciones ambientales lo requieren.

En los autótrofos, la energía se almacena principalmente en forma de almidón en las plantas y como diversos polímeros en las bacterias fotosintéticas. Las plantas almacenan almidón en los cloroplastos y en los amiloplastos, que son orgánulos especializados para el almacenamiento de almidón. Durante la noche o en condiciones de baja luz, las plantas pueden descomponer el almidón en glucosa para mantener el metabolismo celular. Las bacterias fotosintéticas, por otro lado, pueden almacenar energía en forma de gránulos de cianoficina, que contienen una mezcla de aminoácidos que pueden ser descompuestos para producir energía.

El almacenamiento de energía es esencial para la supervivencia de los organismos en entornos cambiantes y permite a los seres vivos mantener su metabolismo y otras funciones vitales incluso en ausencia de fuentes inmediatas de energía. La capacidad de almacenar energía de manera eficiente es una característica clave que ha permitido a los organismos adaptarse a una amplia variedad de hábitats y condiciones ambientales.

En resumen, la síntesis energética es un proceso fundamental en la biología que abarca la obtención, transformación y almacenamiento de energía en los organismos vivos. Desde la captación de la energía solar en la fotosíntesis hasta la producción de ATP en la respiración celular, los organismos han desarrollado una variedad de mecanismos para aprovechar la energía disponible en su entorno. Estos procesos son esenciales para mantener la vida y permiten a los

organismos adaptarse y sobrevivir en una amplia gama de ambientes. El estudio de la síntesis energética no solo es crucial para entender cómo funcionan los organismos, sino también para desarrollar tecnologías que puedan imitar o aprovechar estos procesos para beneficio humano, como en la bioenergía y la biotecnología.

Unidad de Medida de la Energía

La energía es fundamental para los procesos biológicos, y en los organismos vivos, se mide a través de moléculas que actúan como intermediarios energéticos. Las más destacadas son el ATP (adenosín trifosfato), GTP (guanosín trifosfato), FADH₂ (flavina adenina dinucleótido) y NADH (nicotinamida adenina dinucleótido). Cada una de estas moléculas juega un rol crucial en la transferencia de energía dentro de la célula.

El ATP es la unidad de medida de la energía más universal y abundante en las células. Actúa como la "moneda energética" de la célula, almacenando y transfiriendo energía para procesos celulares como la contracción muscular, la síntesis de biomoléculas, y el transporte activo a través de membranas. La energía se libera cuando el ATP se hidroliza a ADP (adenosín difosfato) y un grupo fosfato inorgánico. En términos de equivalencia energética, se estima que un mol de ATP equivale a aproximadamente 30.5 kJ/mol de energía (Alberts et al., 2020).

El GTP es otro nucleótido trifosfato similar al ATP, pero tiene un papel más específico en la transducción de señales y en la síntesis de proteínas. En particular, el GTP es esencial en la señalización mediada por proteínas G y en la activación de proteínas quinasas que participan en la regulación celular. La conversión de GTP a GDP (guanosín difosfato) libera una cantidad de energía comparable a la liberada por la hidrólisis de ATP, lo que sugiere una equivalencia energética entre estas dos moléculas (Berg et al., 2019).

El FADH₂ y NADH son cofactores esenciales en las reacciones de óxido-reducción, específicamente en la cadena de transporte de electrones durante la respiración celular. El FADH₂, cuando se oxida a FAD (flavina adenina dinucleótido), genera aproximadamente 2 ATP a través de la fosforilación

oxidativa. Por otro lado, el NADH, al ser oxidado a NAD⁺, produce aproximadamente 3 ATP. Esto se debe a las diferencias en el número de protones que cada molécula contribuye al gradiente de protones en la membrana mitocondrial interna (Nelson & Cox, 2017).

Cloroplastos y su Estructura

Los cloroplastos son organelos específicos de las células vegetales y algunos protistas que se encargan de la fotosíntesis, el proceso mediante el cual se convierte la energía solar en energía química almacenada en moléculas de carbohidratos. La estructura de un cloroplasto está diseñada para maximizar la eficiencia de la fotosíntesis.

El cloroplasto está rodeado por una doble membrana: la membrana externa, que es permeable a moléculas pequeñas, y la membrana interna, que es mucho más selectiva y contiene proteínas transportadoras específicas. Dentro del cloroplasto se encuentra el estroma, un fluido denso que contiene enzimas, ADN cloroplástico y ribosomas, donde ocurre la fase oscura o ciclo de Calvin (Raven et al., 2019).

El componente más distintivo del cloroplasto es el tilacoide, un sistema de membranas internas que forma sacos aplanados y está organizado en pilas llamadas grana. Las membranas tilacoidales contienen los complejos proteicos de la fotosíntesis, incluyendo los fotosistemas I y II, la cadena de transporte de electrones y la ATP sintasa. La luz captada por los pigmentos de clorofila en los fotosistemas inicia el transporte de electrones que culmina en la producción de ATP y NADPH, necesarios para la síntesis de glucosa en el ciclo de Calvin (Taiz et al., 2018).



Fuente: Elaboración propia.

Tipos de Plastos

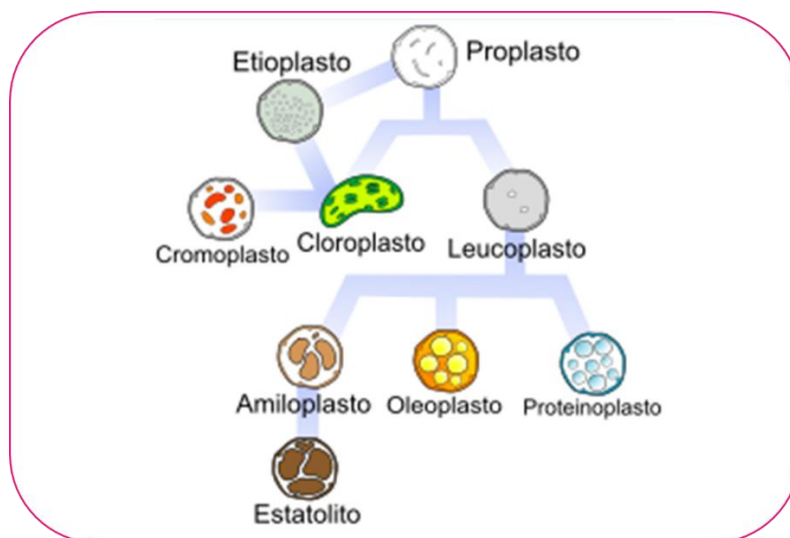
Los plastos son un grupo de organelos de células vegetales y algas que desempeñan diversas funciones, incluyendo la fotosíntesis, el almacenamiento de almidón y la síntesis de compuestos como lípidos y proteínas. Dependiendo de su función y contenido de pigmentos, los plastos se clasifican en varios tipos.

Cloroplastos: Son los plastos más conocidos y responsables de la fotosíntesis. Contienen clorofila, que les da su color verde característico y permite la captura de energía solar. Además, almacenan algunos productos de la fotosíntesis como el almidón.

Cromoplastos: Son plastos que contienen pigmentos carotenoides, que dan color amarillo, naranja o rojo a algunas partes de las plantas como flores y frutos. Estos plastos no participan en la fotosíntesis, pero son cruciales en la atracción de polinizadores y dispersores de semillas (Marin et al., 2020).

Leucoplastos: Son plastos incoloros que se encuentran en tejidos no fotosintéticos como raíces, tubérculos y semillas. Los leucoplastos se especializan en el almacenamiento de reservas nutritivas y se subdividen en:

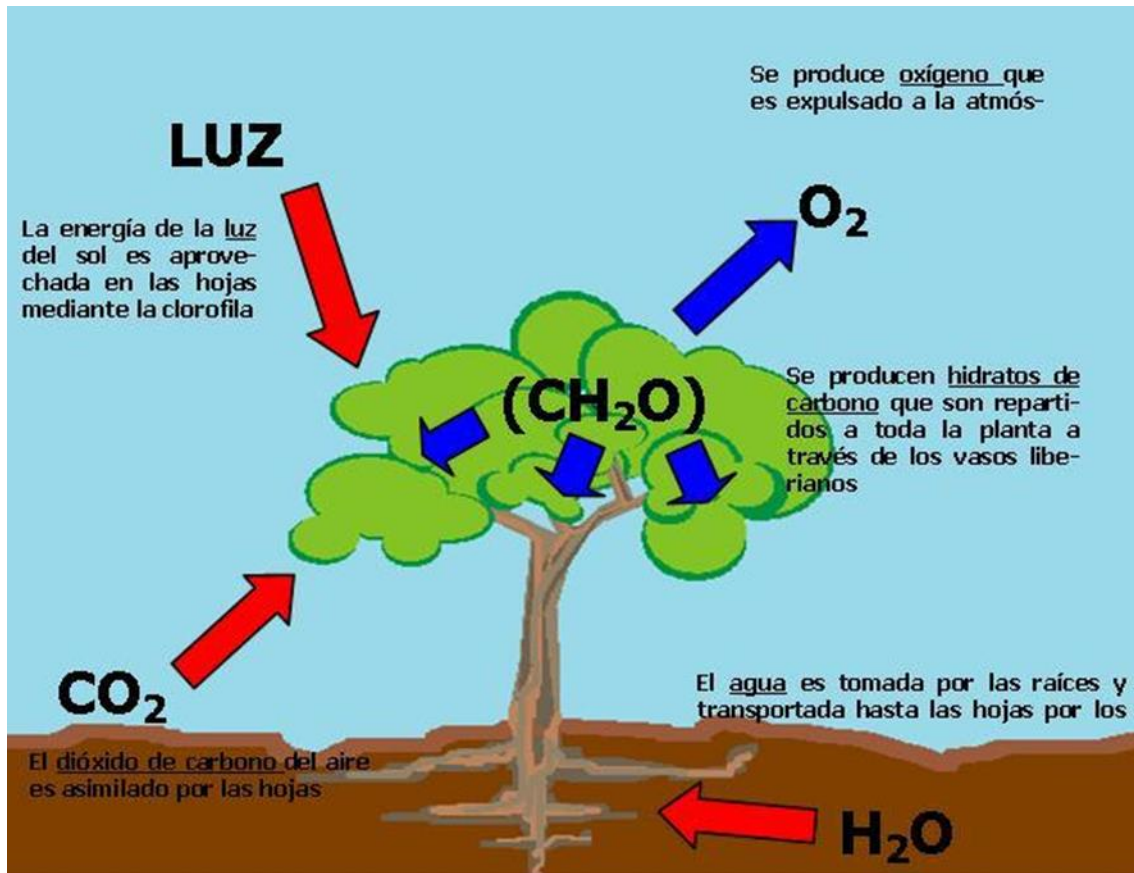
- Amiloplastos: Almacenan almidón y son abundantes en órganos de almacenamiento como tubérculos y semillas.
- Proteinoplastos: Almacenan proteínas y se encuentran en semillas y otros tejidos que requieren la acumulación de grandes cantidades de proteínas.
- Elaioplastos: Almacenan lípidos, y son comunes en células de almacenamiento de grasa en plantas.
- Proplastos: Son plastos indiferenciados que se encuentran en las células meristemáticas. Pueden diferenciarse en cualquier tipo de plasto dependiendo del tipo de célula en la que se desarrollen y de las condiciones ambientales a las que se expongan.
- Etioplastos: Son plastos que se desarrollan en ausencia de luz y se encuentran en plantas que han crecido en la oscuridad. Contienen prolamelar bodies, estructuras membranosas que se transforman en tilacoides cuando la planta es expuesta a la luz, lo que permite la conversión de etioplastos en cloroplastos (Harris et al., 2019).



Fuente: Elaboración propia.

La diversidad funcional y estructural de los plastos, No solo tiene importancia en la fotosíntesis, sino también en el almacenamiento de nutrientes y en la determinación de las características visuales de las plantas. Los plastos, con su capacidad de transformación y adaptación, son fundamentales para la vida vegetal, permitiendo a las plantas realizar un amplio rango de funciones que son esenciales para su supervivencia y crecimiento.

ESTRUCTURA GENERAL DE LOS SISTEMAS FOTOSINTÉTICOS



Fuente: Elaboración propia.

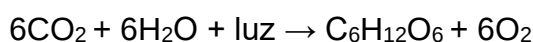
La fotosíntesis es el proceso fundamental a través del cual las plantas, algas y algunas bacterias convierten la luz solar en energía química, almacenada en forma de glucosa. Este proceso ocurre en los cloroplastos de las células vegetales y está constituido por varios componentes estructurales y funcionales que facilitan la conversión de la luz en energía química utilizable.

Los sistemas fotosintéticos se organizan en una serie de estructuras altamente especializadas, las cuales incluyen los fotosistemas, el complejo de clorofilas, y las proteínas transportadoras de electrones. Los cloroplastos, las unidades celulares donde ocurre la fotosíntesis, contienen dos membranas: una membrana externa y una interna, que delimita los estromas donde se encuentran los tilacoides. Los tilacoides son sacos membranosos que contienen los pigmentos fotosintéticos, principalmente clorofilas y carotenoides, organizados en complejos llamados fotosistemas.

La Fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso bioquímico que convierte la energía solar en energía química. Se divide en dos fases principales: la fase luminosa y la fase oscura (o ciclo de Calvin). En la fase luminosa, que ocurre en la membrana de los tilacoides, la energía de la luz solar es capturada por los pigmentos fotosintéticos y utilizada para dividir el agua en oxígeno, protones y electrones. Este proceso produce ATP y NADPH, los cuales son utilizados en la fase oscura para la fijación del carbono y la síntesis de glucosa.

La fórmula general de la fotosíntesis es:



La Fórmula $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

La glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) es el producto final de la fotosíntesis y sirve como una fuente primaria de energía para las plantas. Esta molécula está compuesta por seis átomos de carbono, doce átomos de hidrógeno y seis átomos de oxígeno. Durante la fotosíntesis, el carbono se fija en la glucosa a través del ciclo de Calvin, un proceso que utiliza la energía química almacenada en ATP y NADPH para reducir el dióxido de carbono a glucosa.

Plantas C_3 , C_4 y CAM y sus Diferencias

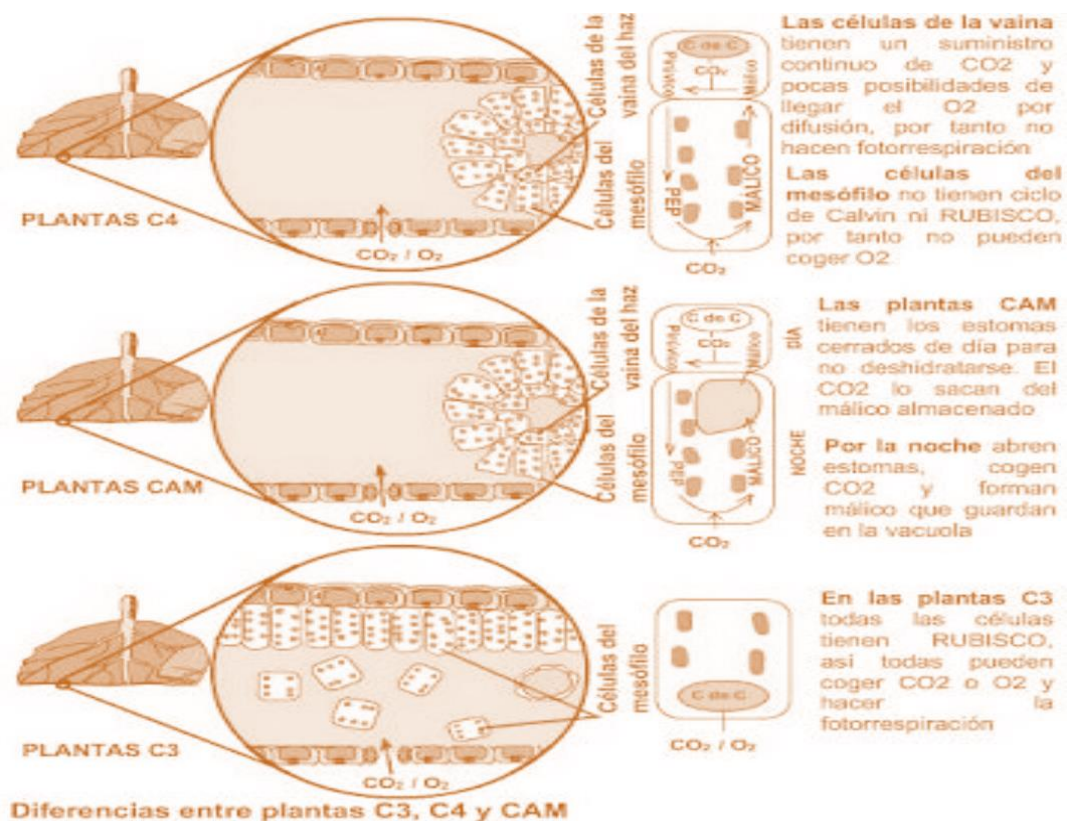
Las plantas han desarrollado diferentes estrategias para la fijación de carbono en función de su entorno. Las plantas C_3 , C_4 y CAM son ejemplos de cómo las adaptaciones fotosintéticas pueden variar.

Plantas C_3 : Utilizan el ciclo de Calvin para la fijación de carbono. Este es el tipo más común de fotosíntesis y se encuentra en plantas como el trigo y el arroz. En condiciones de alta temperatura y baja concentración de CO_2 , las plantas C_3 pueden sufrir una pérdida significativa de agua y eficiencia fotosintética debido a la fotorrespiración.

Plantas C_4 : Estas plantas tienen un mecanismo adicional para la fijación de carbono. En lugar de fijar el CO_2 directamente en el ciclo de Calvin, las plantas C_4 fijan el CO_2 en una molécula de cuatro carbonos en las células mesofílicas.

Esta molécula se transporta a las células de la vaina del haz, donde el CO_2 se libera para entrar en el ciclo de Calvin. Ejemplos de plantas C_4 incluyen el maíz y la caña de azúcar. Este mecanismo es más eficiente en condiciones de alta temperatura y baja disponibilidad de agua.

Plantas CAM (Metabolismo Ácido de Crasuláceas): Estas plantas realizan la fijación de carbono durante la noche, cuando las estomas están abiertas para minimizar la pérdida de agua. El CO_2 se fija en compuestos orgánicos y se libera durante el día para la fotosíntesis. Ejemplos incluyen cactus y piñas. Este tipo de fotosíntesis es especialmente eficiente en ambientes áridos.



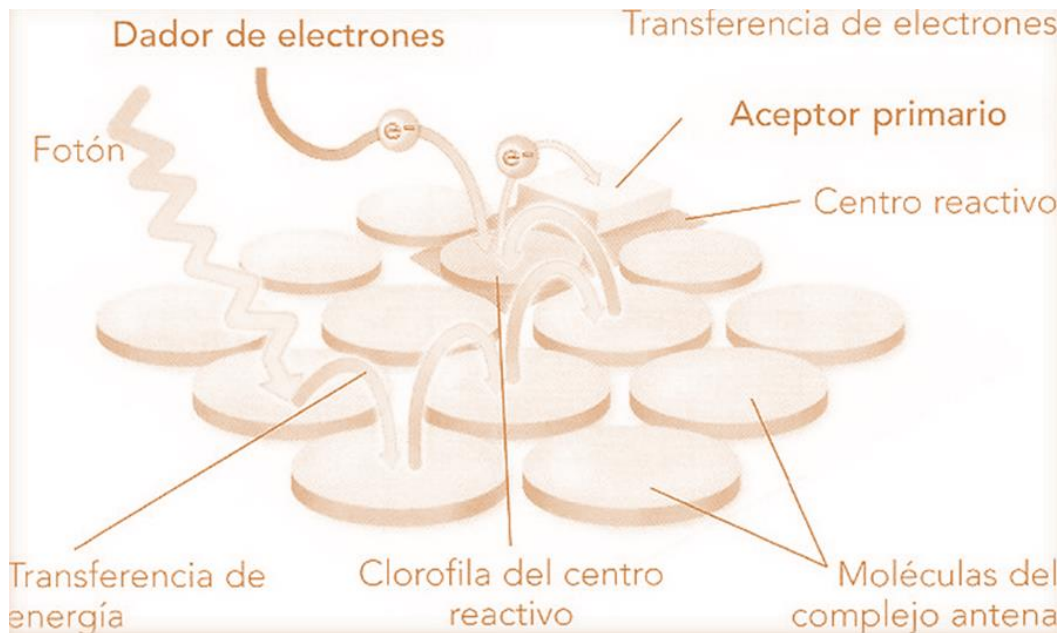
Fuente: Elaboración propia.

Fotosistemas

Los fotosistemas son complejos proteicos situados en las membranas de los tilacoides que contienen pigmentos fotosintéticos y proteínas. Hay dos tipos principales de fotosistemas en la fotosíntesis: el Fotosistema I (PSI) y el Fotosistema II (PSII).

Fase Luminosa: En esta fase, el PSI y el PSII trabajan en conjunto para capturar la luz y generar ATP y NADPH. El PSII absorbe luz y usa la energía para dividir el agua, liberando oxígeno y electrones. Los electrones pasan por una cadena de transporte de electrones, generando un gradiente de protones que es utilizado por la ATP sintasa para producir ATP. El PSI absorbe luz en una etapa posterior y utiliza los electrones para reducir NADP^+ a NADPH.

Fase Oscura (Ciclo de Calvin): En esta fase, que ocurre en el estroma, el ATP y NADPH generados en la fase luminosa se utilizan para fijar el CO_2 y convertirlo en glucosa a través de una serie de reacciones catalizadas por la ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (RuBisCO).



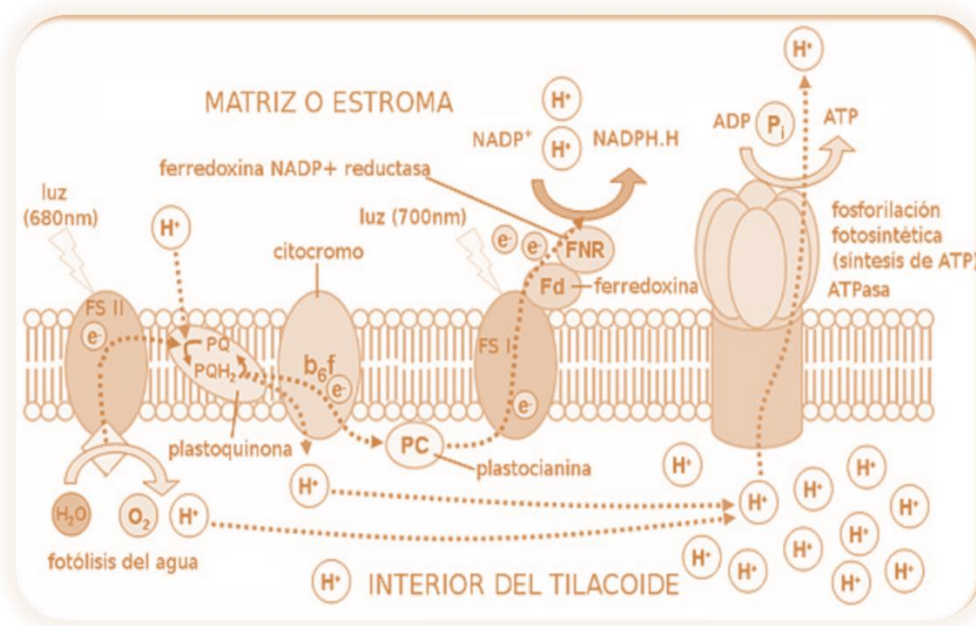
Fuente: Elaboración propia.

Flujo Cíclico de Electrones

El flujo cíclico de electrones es un proceso clave en la fotosíntesis que ocurre en el fotosistema I (PSI) y es crucial para la producción de ATP en la fase luminosa de la fotosíntesis. Durante la fotosíntesis, los electrones son excitados por la luz y se mueven a través de la cadena de transporte de electrones, generando un gradiente de protones que impulsa la síntesis de ATP. En el flujo cíclico, los electrones excitados por PSI no son transferidos al NADP^+ , sino que regresan al complejo de plastoquinona y al complejo de citocromo b_6f , lo que contribuye

a mantener el gradiente de protones y a producir ATP adicional sin la generación de NADPH.

Este proceso permite ajustar la relación entre ATP y NADPH según las necesidades metabólicas de la célula, proporcionando un equilibrio adecuado para el ciclo de Calvin, que utiliza ATP y NADPH para la fijación del carbono. El flujo cíclico de electrones es particularmente importante cuando la célula requiere más ATP que NADPH, como sucede en condiciones de alta demanda de ATP para la biosíntesis.



Fuente: Elaboración propia.

Plantas Fotosintéticas: Plantas C_3 , C_4 y CAM

Las plantas han desarrollado diversas estrategias para optimizar la fotosíntesis en diferentes condiciones ambientales, lo que se refleja en los mecanismos de fijación de carbono y en la eficiencia del uso del agua. Las plantas C_3 , C_4 y CAM representan tres tipos principales de adaptaciones fotosintéticas.

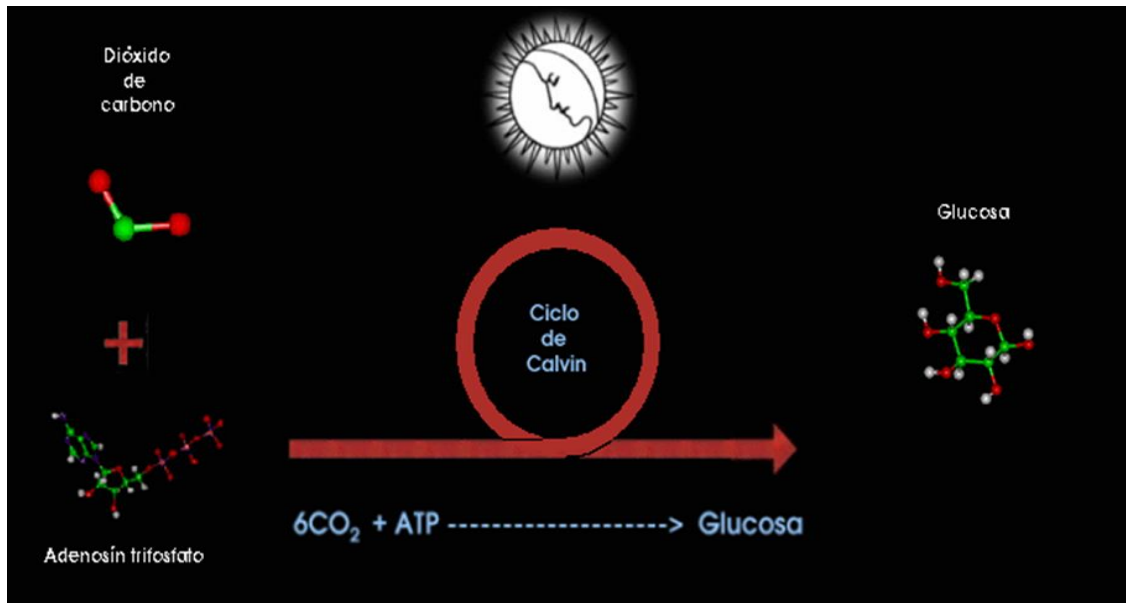
Plantas C_3 : Este grupo utiliza el ciclo de Calvin para la fijación de dióxido de carbono, donde el CO_2 se fija en una molécula de ribulosa-1,5-bisfosfato (RuBP) para formar 3-fosfoglicerato (3-PGA). Las plantas C_3 , como el trigo y la soja, son eficientes en condiciones moderadas de luz y temperatura, pero pueden sufrir

una pérdida significativa de agua y eficiencia fotosintética debido a la fotorespiración en condiciones de altas temperaturas y baja concentración de CO_2 .

Plantas C_4 : Las plantas C_4 , como el maíz y la caña de azúcar, han desarrollado una adaptación adicional para minimizar la fotorespiración. En lugar de fijar el CO_2 directamente en el ciclo de Calvin, las plantas C_4 utilizan un proceso de fijación de carbono en las células mesofílicas para formar un compuesto de cuatro carbonos que se transporta a las células de la vaina del haz. Allí, el CO_2 se libera y se introduce en el ciclo de Calvin. Este mecanismo permite a las plantas C_4 ser más eficientes en condiciones de alta temperatura y baja disponibilidad de agua.

Plantas CAM (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas): Las plantas CAM, como los cactus y las piñas, abren sus estomas durante la noche para fijar CO_2 en compuestos orgánicos, lo que reduce la pérdida de agua en ambientes áridos. Durante el día, el CO_2 almacenado se libera para la fotosíntesis mientras los estomas permanecen cerrados. Este enfoque es especialmente adaptativo en ambientes desérticos donde el agua es escasa.

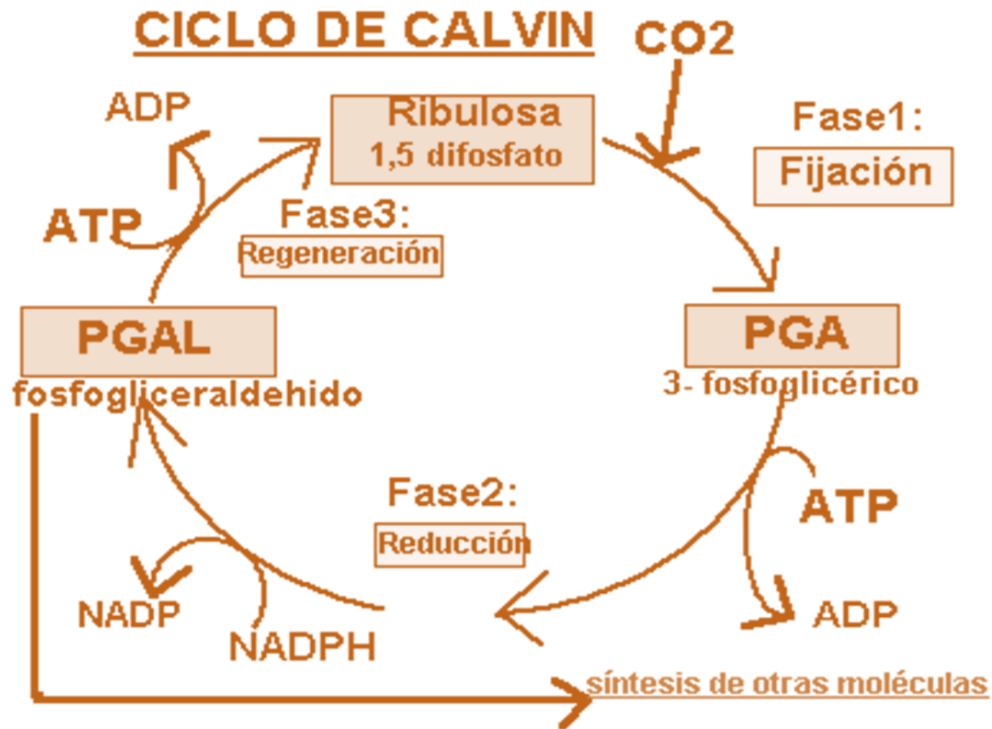
CICLO DE CALVIN



Fuente: Khan Academy, 2024.

El ciclo de Calvin es la fase oscura de la fotosíntesis y ocurre en el estroma de los cloroplastos. Este ciclo utiliza ATP y NADPH, producidos en la fase luminosa, para convertir el CO₂ en glucosa a través de una serie de reacciones enzimáticas. El ciclo se inicia con la fijación del CO₂ a la ribulosa-1,5-bisfosfato (RuBP) mediante la enzima RuBisCO, formando 3-fosfoglicerato (3-PGA). Este compuesto se reduce a gliceraldehído-3-fosfato (G3P) utilizando ATP y NADPH. Finalmente, una parte de G3P se utiliza para regenerar RuBP, permitiendo que el ciclo continúe, mientras que el resto se utiliza para la síntesis de glucosa y otros carbohidratos.

El ciclo de Calvin es crucial para la producción de biomasa en las plantas y la fijación de carbono en forma de glucosa, que se utiliza para el crecimiento, desarrollo y almacenamiento de energía.



Fuente: Elaboración propia.

Mitocondria

Las mitocondrias son orgánulos celulares esenciales para la producción de energía en forma de ATP. Actúan como las "centrales energéticas" de la célula, realizando la respiración celular que convierte los nutrientes en ATP a través de la fosforilación oxidativa. Además de su rol en la generación de energía, las mitocondrias están implicadas en una variedad de funciones celulares, incluyendo la regulación del ciclo celular, la apoptosis, y el control del metabolismo celular.

Funciones Principales de la Mitocondria:

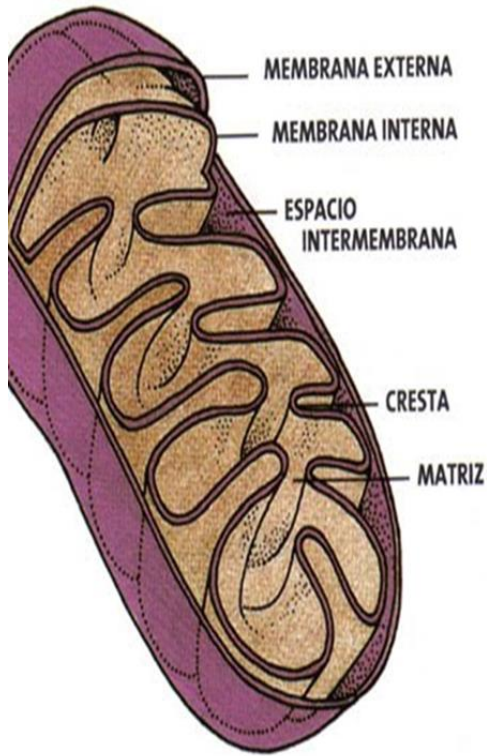
Producción de ATP: La principal función de las mitocondrias es la síntesis de ATP mediante la respiración celular, un proceso que incluye la glicólisis, el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones.

Regulación del Metabolismo Celular: Las mitocondrias están involucradas en la regulación del metabolismo lipídico y glucídico, así como en la producción de metabolitos clave.

Apoptosis: Participan en la apoptosis, o muerte celular programada, al liberar factores que desencadenan la cascada de eventos apoptóticos.

Control de la Homeostasis del Calcio: Actúan como un reservorio de calcio, regulando su concentración en la célula y modulando diversas vías metabólicas.

Estructura de la Mitocondria:



Fuente: New Association Academic, 2024.

Membrana Externa: La membrana externa es una barrera lipídica que separa la mitocondria del citosol. Contiene proteínas que permiten el transporte de moléculas a través de ella, así como enzimas involucradas en la biosíntesis de lípidos.

Membrana Interna: La membrana interna está altamente plegada en estructuras llamadas crestas, que aumentan su superficie para albergar los componentes de la cadena de transporte de electrones y la ATP sintasa. Esta membrana es semipermeable y mantiene un gradiente de protones necesario para la producción

de ATP.

Espacio Intermembrana: Es el área entre la membrana externa e interna. El gradiente de protones se genera en este espacio durante el proceso de respiración celular.

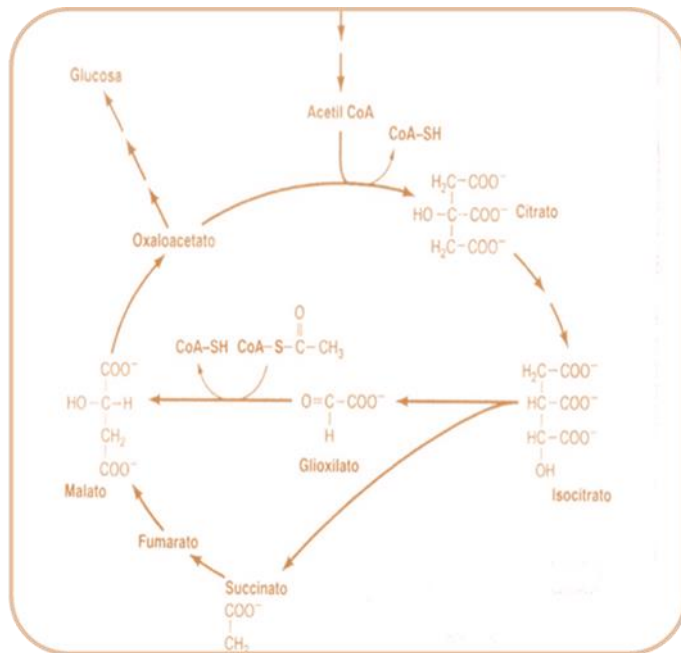
Crestas: Las crestas son las invaginaciones de la membrana interna que proporcionan una mayor área de superficie para la cadena respiratoria, facilitando la producción de ATP.

Matriz: La matriz es el fluido gelatinoso que se encuentra dentro de la membrana interna. Contiene enzimas necesarias para el ciclo de Krebs y otras vías

metabólicas, así como ADN mitocondrial y ribosomas que permiten la síntesis de proteínas mitocondriales.

Ciclo del Glioxilato

El ciclo del glioxilato es una ruta metabólica especializada en ciertas plantas, bacterias y hongos que permite la conversión de los ácidos grasos en carbohidratos, algo que no es posible en los animales debido a la falta de la enzima isocitrato liasa. Este ciclo se realiza en los glioxisomas, que son peroxisomas especializados



Fuente: Elaboración propia

encontrados principalmente en semillas germinativas en desarrollo. El ciclo del glioxilato es una variante modificada del ciclo de Krebs y facilita la conversión de acetil-CoA en oxalacetato y otros intermediarios metabólicos necesarios para la síntesis de glucosa.

Durante el ciclo del glioxilato, dos moléculas de acetil-CoA se combinan para formar succinato y luego oxalacetato. Este proceso requiere de dos enzimas clave: la isocitrato liasa y la malato sintasa. La isocitrato liasa cataliza la conversión de isocitrato en succinato y glioxilato, mientras que la malato sintasa condensa acetil-CoA con glioxilato para formar malato. El malato puede ser posteriormente convertido en oxalacetato, el cual puede ser utilizado para la síntesis de glucosa a través de la gluconeogénesis.

El ciclo del glioxilato proporciona una vía crucial para la producción de carbohidratos en organismos que almacenan grandes cantidades de lípidos, permitiendo la utilización de estos lípidos para la generación de glucosa durante el proceso de germinación o en condiciones de escasez de carbohidratos.

Glucólisis

La glucólisis es una vía metabólica fundamental en el catabolismo de los carbohidratos, que se lleva a cabo en el citoplasma de la célula. Este proceso descompone una molécula de glucosa en dos moléculas de piruvato, produciendo ATP y NADH en el proceso. La glucólisis se divide en dos fases principales: la fase de gasto energético y la fase de obtención de energía.

Fases de la Glucólisis

Fase de gasto energético (Fase de hexosas o etapa preparativa): En esta fase, se utilizan dos moléculas de ATP para fosforilar la glucosa y su intermediario, la fructosa-6-fosfato. La adición de grupos fosfato convierte la glucosa en fructosa-1,6-bisfosfato, preparándola para su posterior división. Esta fase incluye los primeros tres pasos de la glucólisis:

Hexoquinasa: Cataliza la fosforilación de la glucosa a glucosa-6-fosfato utilizando ATP. Este paso es crucial para la trampa de la glucosa dentro de la célula y su posterior metabolismo.

Glucosa-6-P isomerasa: Convierte la glucosa-6-fosfato en fructosa-6-fosfato. Este paso es una reacción de isomerización que prepara la glucosa para la siguiente fosforilación.

Fosfofructoquinasa: Cataliza la fosforilación de la fructosa-6-fosfato a fructosa-1,6-bisfosfato utilizando otro ATP. Este paso es una de las reacciones clave de la glucólisis y actúa como un punto de control.

Fase de obtención de energía (Fase de triosas o etapa oxidativa): En esta fase, la fructosa-1,6-bisfosfato se divide en dos moléculas de triosas fosfato, que posteriormente se oxidan para producir ATP y NADH. Esta fase incluye los siguientes pasos:

Aldolasa: Cataliza la división de la fructosa-1,6-bisfosfato en dos triosas fosfato: dihidroxiacetona fosfato y gliceraldehído-3-fosfato.

Triosa fosfato isomerasa: Convierte la dihidroxiacetona fosfato en gliceraldehído-3-fosfato, asegurando que ambas moléculas producidas en el paso anterior puedan ser procesadas en la siguiente fase.

Gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa: Oxida el gliceraldehído-3-fosfato a 1,3-bisfosfoglicerato, generando NADH en el proceso.

Fosfoglicerato quinasa: Cataliza la transferencia de un grupo fosfato del 1,3-bisfosfoglicerato al ADP, produciendo ATP y 3-fosfoglicerato.

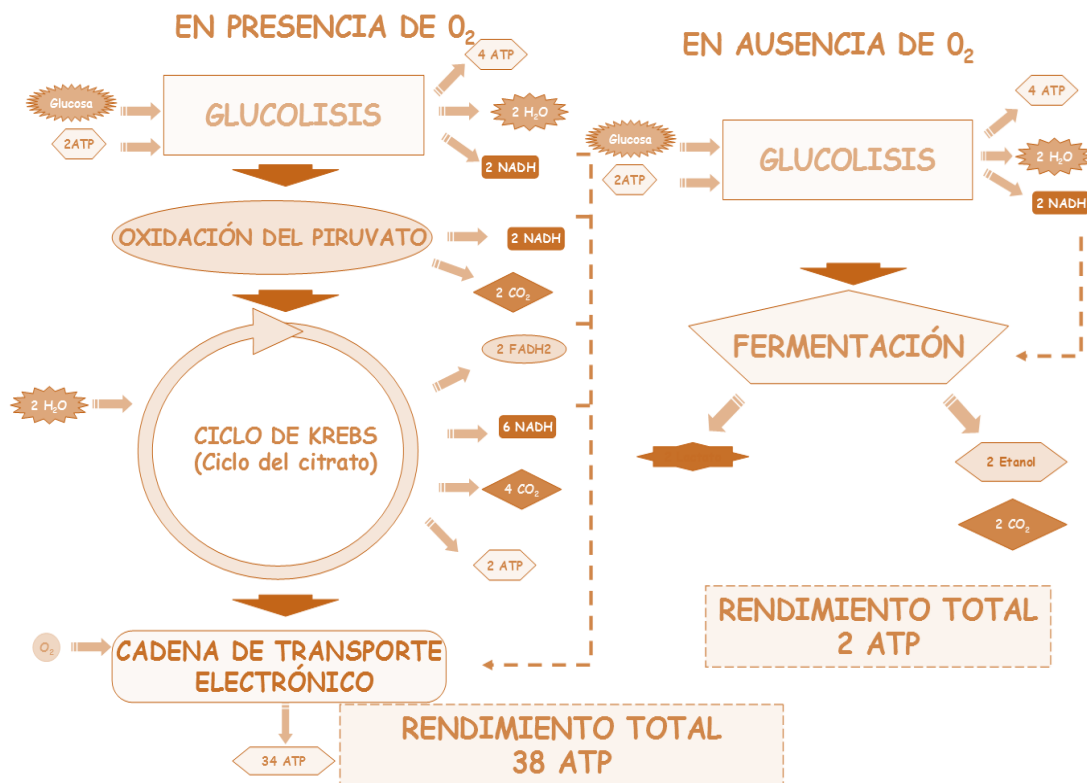
Fosfoglicerato mutasa: Transfiere el grupo fosfato del 3-fosfoglicerato al carbono 2, formando 2-fosfoglicerato.

Enolasa: Deshidrata el 2-fosfoglicerato para formar fosfoenolpiruvato, creando una alta energía fosfato.

Piruvato quinasa: Transfiere el grupo fosfato del fosfoenolpiruvato al ADP, produciendo ATP y piruvato.

Cadena Terminal de Electrones

La cadena terminal de electrones (o cadena respiratoria) es un conjunto de complejos proteicos localizados en la membrana interna de las mitocondrias, crucial para la producción de ATP a través de la fosforilación oxidativa. Esta cadena es el paso final en la respiración celular aeróbica y se encarga de transferir electrones desde los donadores de electrones como NADH y FADH₂ hasta el oxígeno, el aceptor final de electrones. El proceso genera un gradiente de protones a través de la membrana interna, el cual impulsa la síntesis de ATP mediante la ATP sintasa.



Fuente: Elaboración propia.

Procesos de la Cadena Terminal de Electrones

La cadena terminal de electrones consta de cuatro complejos principales (I-IV) y dos transportadores móviles: la ubiquinona (coenzima Q) y el citocromo c. Los electrones donados por NADH y FADH₂ son transferidos a través de estos complejos en una serie de reacciones redox. La energía liberada durante el transporte de electrones es utilizada para bombear protones (H^+) desde la matriz mitocondrial hacia el espacio intermembrana, generando un gradiente electroquímico.

Complejo I (NADH deshidrogenasa): Este complejo cataliza la transferencia de electrones desde NADH a la ubiquinona. El proceso está asociado con el bombeo de protones hacia el espacio intermembrana.

Complejo II (Succinato deshidrogenasa): Este complejo transfiere electrones desde FADH₂ a la ubiquinona sin bombear protones. Está también implicado en el ciclo de Krebs, donde oxida el succinato a fumarato.

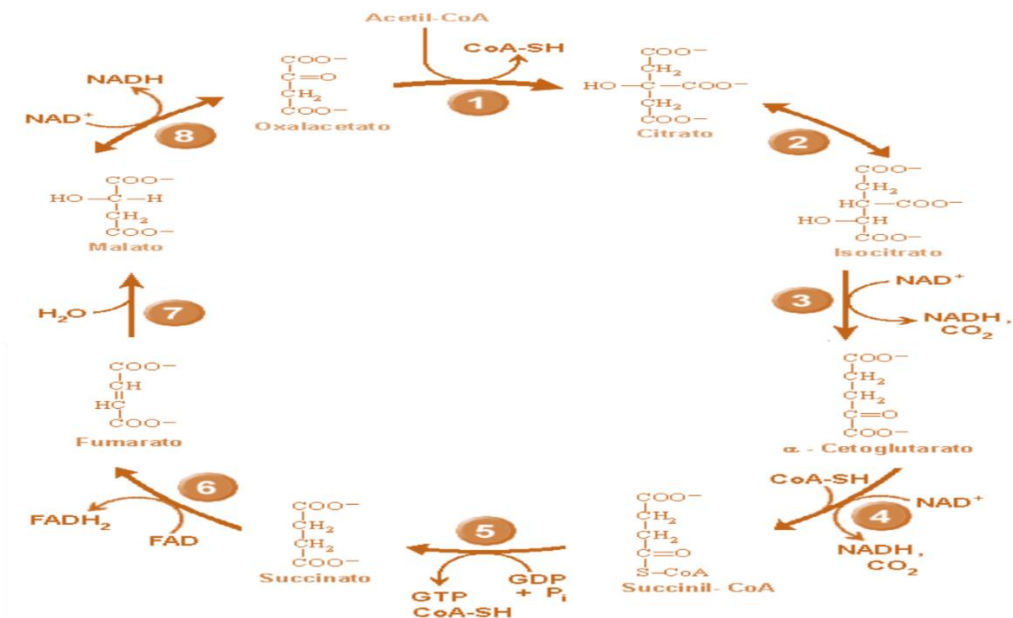
Complejo III (Citocromo bc1): Este complejo transfiere electrones desde la ubiquinona reducida (ubiquinol) al citocromo c. El transporte de electrones a través de este complejo también está acoplado al bombeo de protones.

Complejo IV (Citocromo c oxidasa): Los electrones del citocromo c son transferidos a oxígeno, el cual se reduce para formar agua. Este complejo también contribuye al gradiente de protones a través de la membrana interna.

La ATP sintasa utiliza el gradiente de protones generado para sintetizar ATP a partir de ADP y fosfato inorgánico. Este proceso de quimiosmosis es esencial para la producción eficiente de ATP durante la respiración celular.

Ciclo de Krebs

El ciclo de Krebs, también conocido como el ciclo del ácido cítrico o ciclo del ácido tricarboxílico, es una serie de reacciones metabólicas que ocurren en la matriz mitocondrial y que juegan un papel clave en la producción de ATP, NADH y FADH₂. Este ciclo comienza con la combinación de acetil-CoA con oxalacetato para formar citrato y pasa por varias etapas de oxidación y decarboxilación.



Fuente: Elaboración propia.

La Acetil Coenzima A

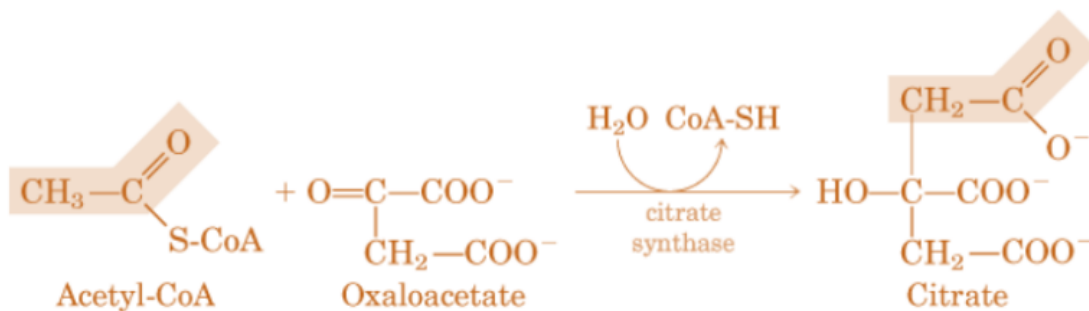
La acetil-CoA es una molécula clave en el ciclo de Krebs. Se produce a partir de la degradación de carbohidratos, grasas y proteínas y entra en el ciclo al combinarse con oxalacetato para formar citrato. La acetil-CoA se genera principalmente en la matriz mitocondrial a través de la oxidación del piruvato y de los ácidos grasos.

La Reacción de Oxidación-Decarboxilación del Piruvato

Antes de entrar en el ciclo de Krebs, el piruvato (producto final de la glucólisis) es transportado a la matriz mitocondrial donde sufre una reacción de oxidación y decarboxilación catalizada por el complejo piruvato deshidrogenasa. En esta reacción, el piruvato pierde un grupo carboxilo como CO_2 , y el resto de la molécula se convierte en acetil-CoA, que es luego introducido en el ciclo de Krebs.

Etapas del Ciclo de Krebs

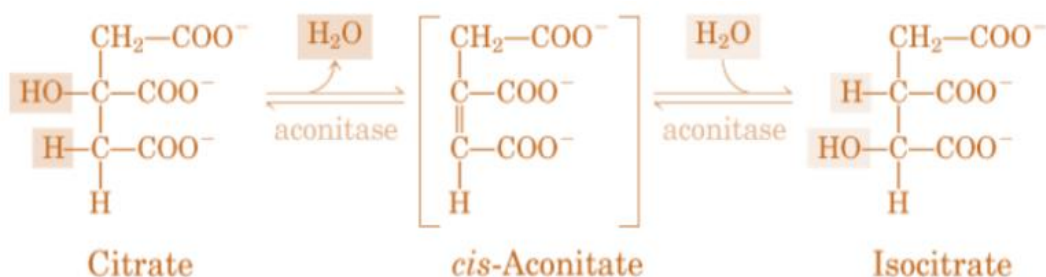
Reacción 1: Citrato sintasa (De oxalacetato a citrato): La acetil-CoA se combina con oxalacetato para formar citrato, una reacción catalizada por la citrato sintasa. Este paso es irreversible y marca el inicio del ciclo.



Primera reaccion del Ciclo del Acido Citrico

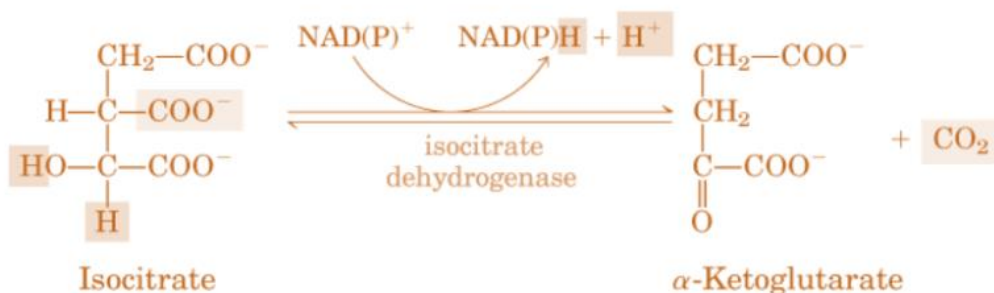
Fuente: Biomodel, 2024.

Reacción 2: Aconitasa (De citrato a isocitrato): El citrato es convertido en isocitrato a través de una isomerización mediada por la aconitasa. Este paso implica la formación de un intermedio, el cis-aconitato.



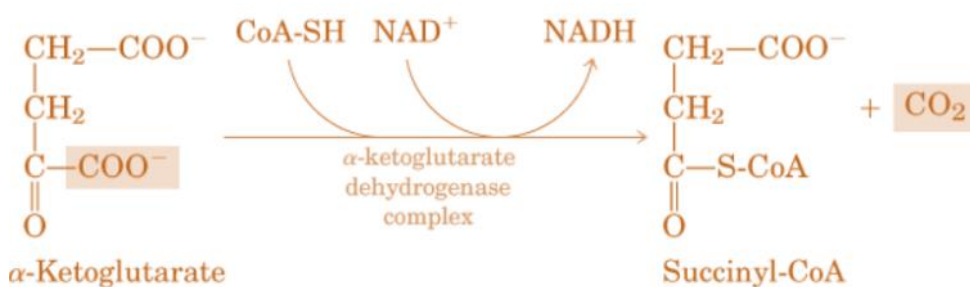
Fuente: Biomodel, 2024.

Reacción 3: Isocitrato deshidrogenasa (De isocitrato a oxoglutarato): El isocitrato se oxida a α -cetoglutarato (oxoglutarato) por la isocitrato deshidrogenasa. Este paso produce NADH y libera CO_2 .



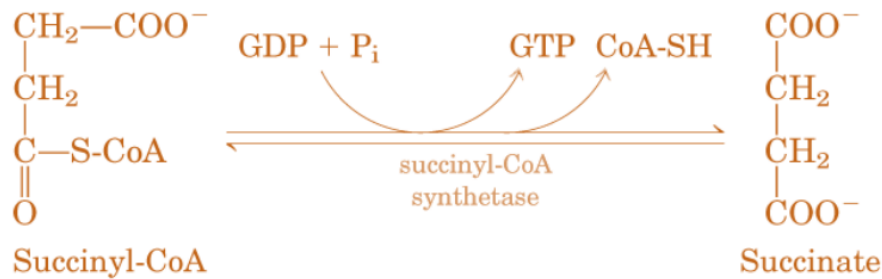
Fuente: Biomodel, 2024.

Reacción 4: α -Cetoglutarato deshidrogenasa (De α -cetoglutarato a succinil-CoA): El α -cetoglutarato se convierte en succinil-CoA mediante una reacción de oxidación y descarboxilación catalizada por el complejo α -cetoglutarato deshidrogenasa. Se genera NADH y se libera un CO_2 .



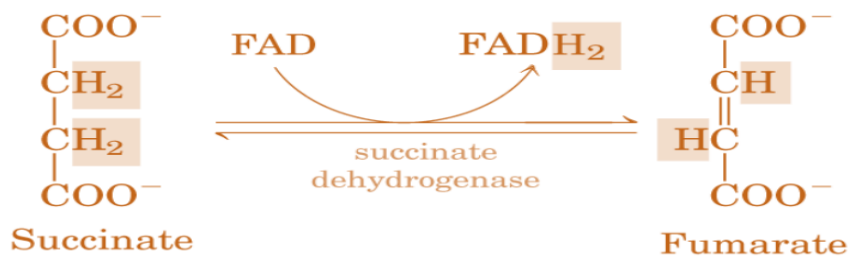
Fuente: Biomodel, 2024.

Reacción 5: Succinil-CoA sintetasa (De succinil-CoA a succinato): El succinil-CoA se convierte en succinato en una reacción catalizada por la succinil-CoA sintetasa. Este paso genera ATP (o GTP, dependiendo del organismo).



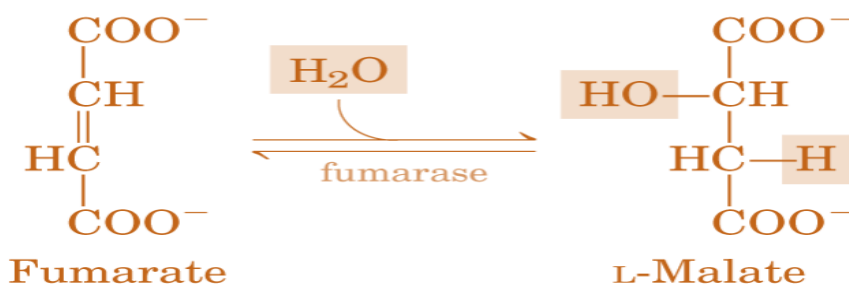
Fuente: Biomodel, 2024.

Reacción 6: Succinato deshidrogenasa (De succinato a fumarato): El succinato se oxida a fumarato por la succinato deshidrogenasa. Este paso produce FADH₂.



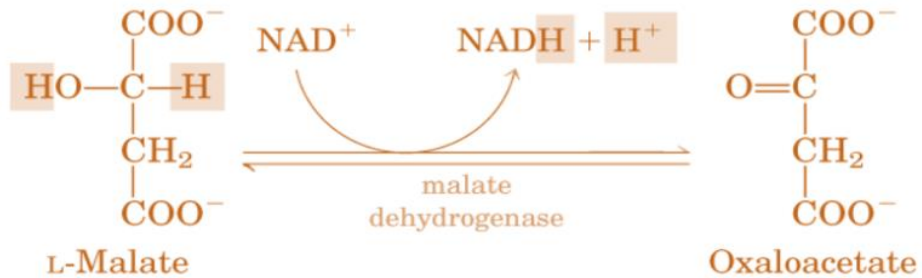
Fuente: Biomodel, 2024.

Reacción 7: Fumarasa (De fumarato a L-malato): El fumarato se convierte en L-malato mediante la acción de la fumarasa, que añade una molécula de agua al fumarato.



Fuente: Biomodel, 2024.

Reacción 8: Malato deshidrogenasa (De L-malato a oxalacetato): El L-malato se oxida a oxalacetato por la malato deshidrogenasa. Este paso genera NADH y completa el ciclo.



Octava reaccion del Ciclo del Acido Citrico

Fuente: Biomodel, 2024.

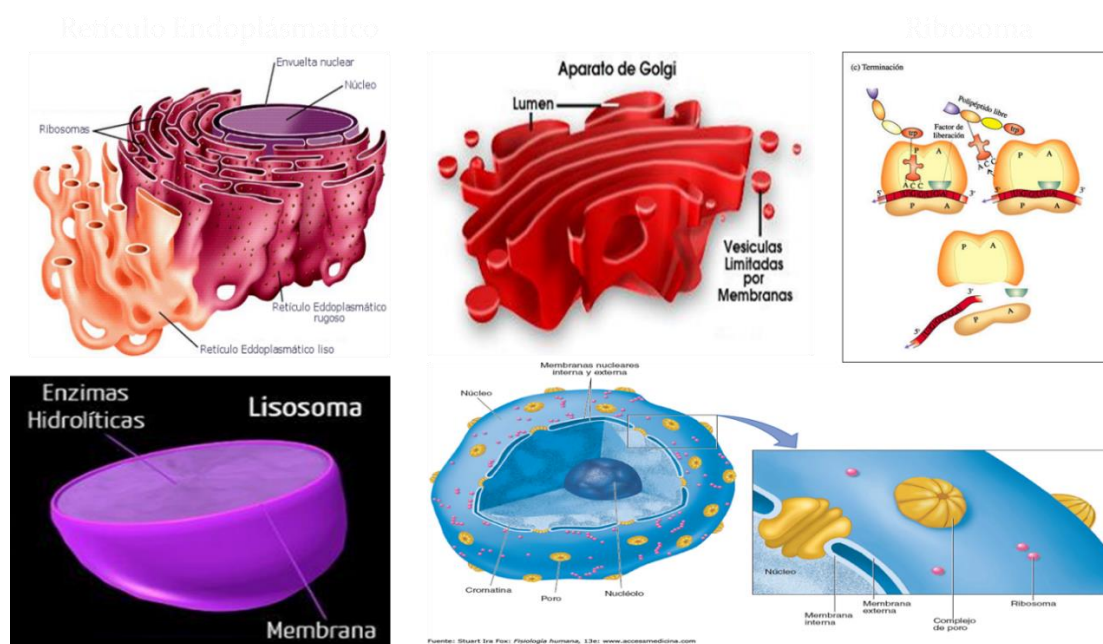


UNIDAD V

Síntesis de Macromoléculas.

UNIDAD V

SÍNTESIS DE MACROMOLÉCULAS



Fuente: Elaboración propia.

En el núcleo de toda la vida se encuentran las macromoléculas, compuestos complejos que desempeñan roles esenciales en la estructura y función de las células. Entre las más importantes se encuentran los ácidos nucleicos, como el ADN (ácido desoxirribonucleico) y el ARN (ácido ribonucleico), que son fundamentales para la herencia genética y la síntesis de proteínas. Este análisis interpretativo explorará en detalle la síntesis de estas macromoléculas, con un enfoque particular en la estructura de los nucleótidos que componen el ADN y el ARN. Se examinarán los tres componentes principales de un nucleótido: el grupo fosfato, el azúcar pentosa y la base nitrogenada. Además, se discutirá la relevancia de estos componentes en la función y estabilidad de las moléculas de ADN y ARN.

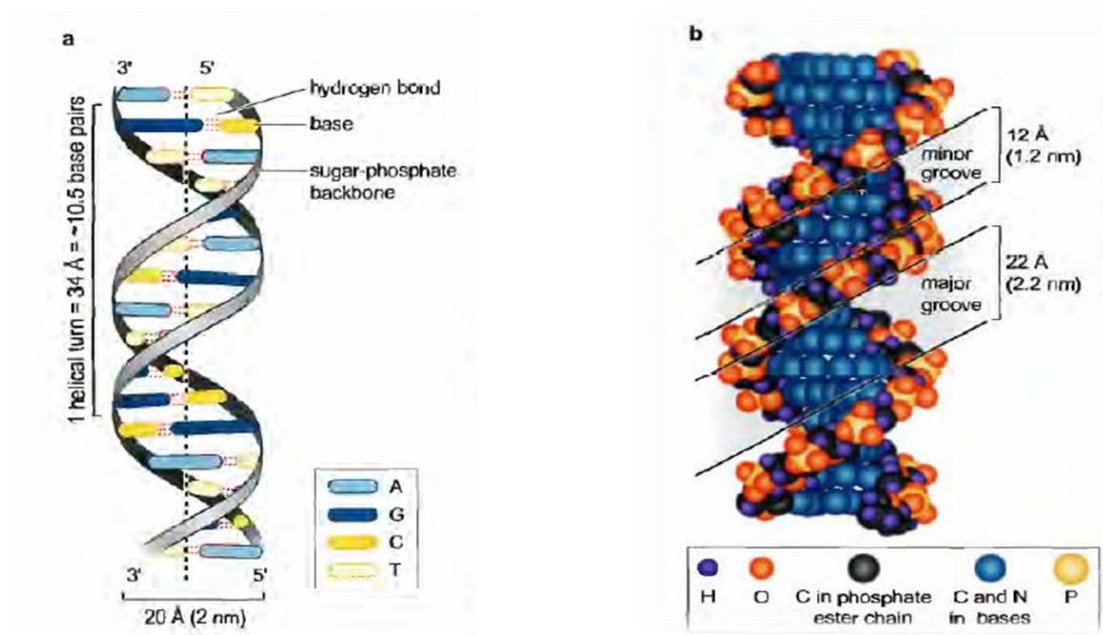
Síntesis de Macromoléculas

La síntesis de macromoléculas es un proceso clave en la biología celular, que permite la formación de grandes moléculas a partir de monómeros más pequeños. Este proceso se lleva a cabo a través de reacciones de polimerización, en las cuales los monómeros se enlazan mediante enlaces

covalentes para formar polímeros. En el contexto de los ácidos nucleicos, los nucleótidos actúan como monómeros que se unen para formar largas cadenas de ADN o ARN. La síntesis de ADN, conocida como replicación, es esencial para la transmisión de información genética de una célula a otra durante la división celular (Alberts et al., 2015). Por otro lado, la síntesis de ARN, denominada transcripción, es crucial para la expresión génica, permitiendo que la información contenida en el ADN sea traducida en proteínas (Watson et al., 2013).

ADN y ARN: Nucleótidos

Los nucleótidos son las unidades básicas de los ácidos nucleicos y están compuestos por tres componentes fundamentales: un grupo fosfato, un azúcar pentosa y una base nitrogenada. Estos componentes trabajan en conjunto para formar la estructura primaria de las moléculas de ADN y ARN. En el ADN, los nucleótidos se organizan en una doble hélice, mientras que en el ARN, generalmente, se encuentran en una sola cadena (Watson et al., 2013). La secuencia de nucleótidos en el ADN determina la secuencia de aminoácidos en las proteínas, un proceso mediado por el ARN mensajero (mARN). Por lo tanto, la estructura y composición de los nucleótidos son fundamentales para el almacenamiento y transmisión de la información genética.



Fuente: Elaboración propia.

Nucleótidos: Grupo Fosfato, Azúcar (Pentosa), Base Nitrogenada

El nucleótido está compuesto por tres elementos fundamentales. El primero es el grupo fosfato, que es esencial para la formación de enlaces fosfodiéster entre nucleótidos adyacentes, permitiendo la polimerización del ADN y el ARN. El segundo es el azúcar pentosa, que puede ser ribosa en el ARN o desoxirribosa en el ADN. Este azúcar forma parte del esqueleto de la molécula y determina su estabilidad y función. Finalmente, las bases nitrogenadas, que se dividen en púricas (adenina y guanina) y pirimidínicas (citosina, timina y uracilo), son responsables de las interacciones de apareamiento de bases que mantienen la estructura de la hélice del ADN o de la cadena de ARN (Lodish et al., 2016).

Grupo Fosfato

El grupo fosfato es un componente crucial de los nucleótidos. Cada nucleótido contiene uno o más grupos fosfato, que se encuentran unidos al carbono 5' del azúcar pentosa. En el contexto del ADN y el ARN, los grupos fosfato juegan un papel esencial en la formación del esqueleto de estas macromoléculas. Los enlaces fosfodiéster, que se forman entre el grupo fosfato de un nucleótido y el carbono 3' del azúcar pentosa del siguiente nucleótido, son responsables de la polimerización de los ácidos nucleicos (Alberts et al., 2015). Este enlace covalente es resistente a la hidrólisis, lo que confiere estabilidad a la molécula de ADN o ARN. Además, los grupos fosfato son ácidos y, en condiciones fisiológicas, se encuentran desprotonados, lo que confiere una carga negativa a la molécula de ADN o ARN. Esta carga negativa es crítica para la interacción del ADN con proteínas como las histonas, que ayudan a empaquetar el ADN en la cromatina (Watson et al., 2013).

Azúcar (Pentosa): ADN (Desoxirribosa) y ARN (Ribosa)

El azúcar pentosa es otro componente clave del nucleótido y varía entre el ADN y el ARN. En el ADN, el azúcar es la desoxirribosa, mientras que en el ARN es la ribosa. La principal diferencia entre estos dos azúcares es la presencia de un grupo hidroxilo (-OH) en el carbono 2' de la ribosa, que está ausente en la desoxirribosa (Watson et al., 2013). Esta diferencia tiene implicaciones significativas para la estructura y función de las moléculas de ADN y ARN. La

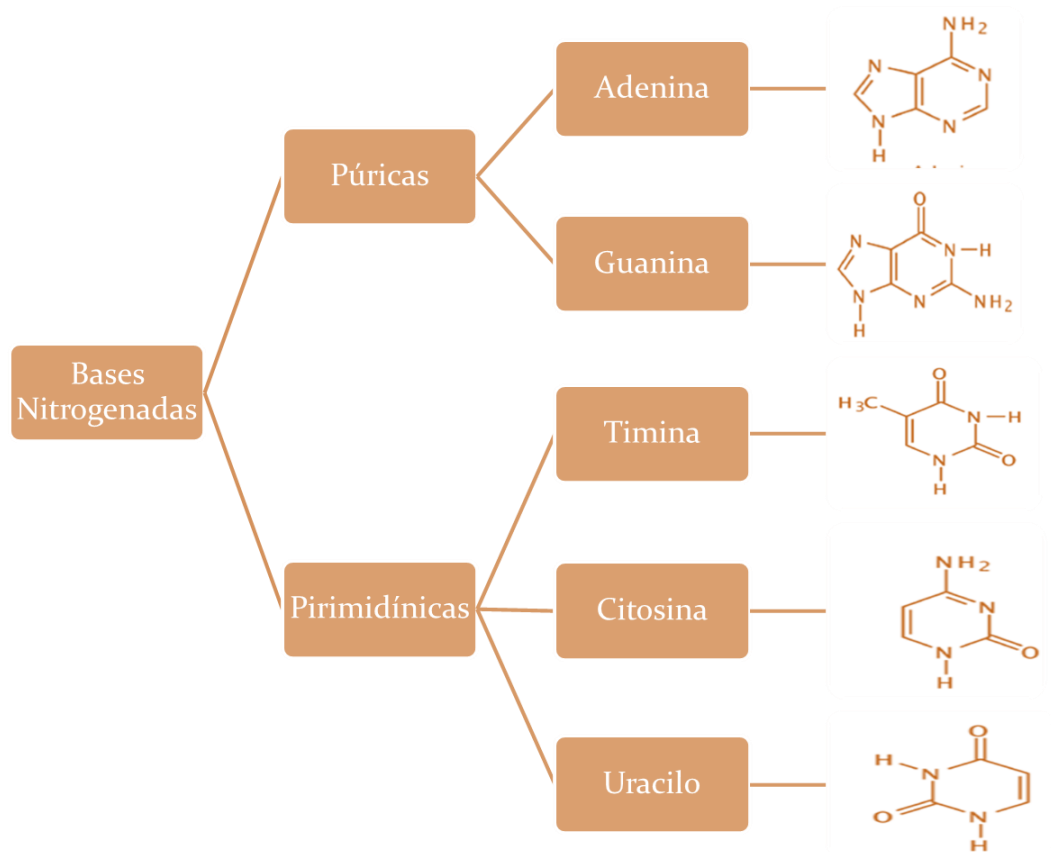
desoxirribosa, al carecer del grupo -OH en el carbono 2', hace que el ADN sea más estable y menos susceptible a la hidrólisis, lo que es adecuado para el almacenamiento a largo plazo de información genética. Por otro lado, la ribosa en el ARN, con su grupo -OH adicional, hace que la molécula sea más reactiva y adecuada para funciones temporales, como la síntesis de proteínas (Lodish et al., 2016).

Base Nitrogenada: Púricas (Adenina, Guanina) y Pirimidínicas (Timina, Citosina, Uracilo)

Las bases nitrogenadas son el tercer componente fundamental de los nucleótidos y se dividen en dos categorías: purinas y pirimidinas. Las purinas, adenina (A) y guanina (G), tienen una estructura de doble anillo, mientras que las pirimidinas, timina (T), citosina (C) y uracilo (U), tienen una estructura de anillo simple (Watson et al., 2013). En el ADN, las bases adenina, guanina, citosina y timina se aparean de manera específica: la adenina con la timina (A-T) y la guanina con la citosina (G-C). En el ARN, la timina es reemplazada por el uracilo, por lo que la adenina se aparea con el uracilo (A-U) (Lodish et al., 2016). Estas interacciones de apareamiento de bases son fundamentales para la estructura de la doble hélice del ADN y para la precisión de la transcripción y traducción en la síntesis de proteínas. La secuencia de estas bases a lo largo de la cadena de ADN o ARN es lo que codifica la información genética.

El análisis de los componentes de los nucleótidos y su papel en la estructura y función de las moléculas de ADN y ARN destaca la complejidad y la elegancia de los mecanismos biológicos que sustentan la vida. Los grupos fosfato, los azúcares pentosa y las bases nitrogenadas no solo constituyen la estructura física de los ácidos nucleicos, sino que también son fundamentales para la estabilidad, replicación y expresión de la información genética. La comprensión detallada de estos componentes es esencial para apreciar cómo las macromoléculas realizan sus funciones biológicas, desde la codificación de información genética hasta la regulación de la expresión génica y la síntesis de proteínas.

En la célula, los orgánulos son estructuras especializadas que realizan funciones específicas necesarias para la vida y el crecimiento celular. A través de la evolución, las células eucariotas han desarrollado una gran variedad de orgánulos, cada uno adaptado para llevar a cabo procesos vitales. Esta investigación explora la definición de un orgánulo, junto con un análisis detallado del retículo endoplasmático, el aparato de Golgi, los lisosomas y los ribosomas, incluyendo las diferencias entre ribosomas en células eucariotas y procariotas.



Fuente: Elaboración propia.

¿Qué es un Organelo?



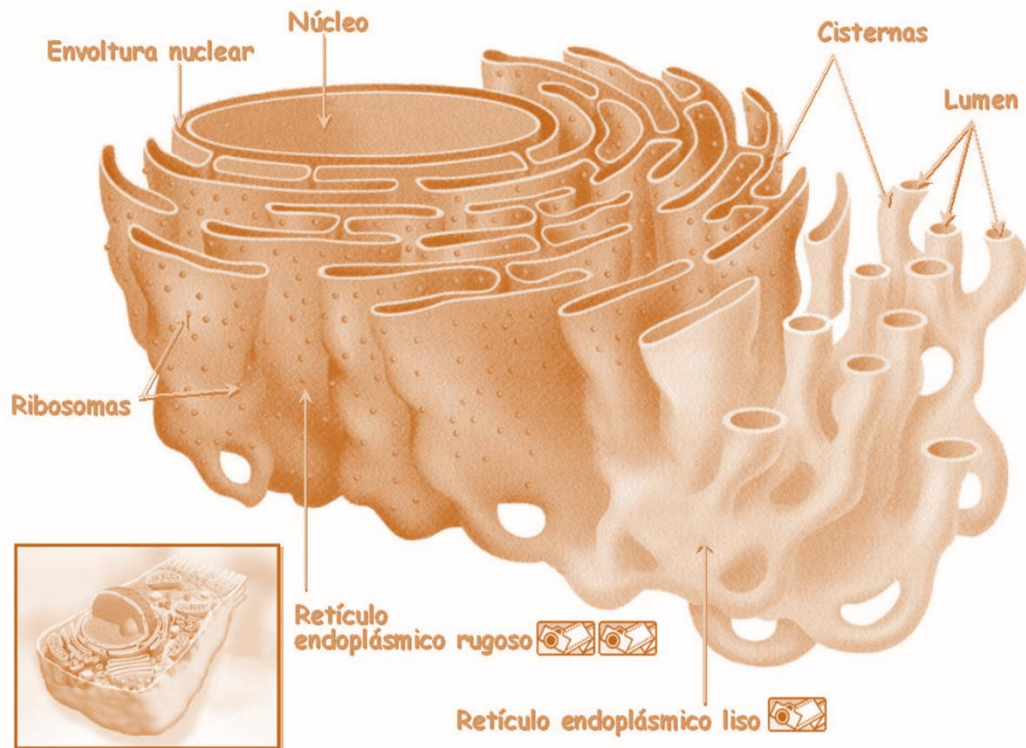
Un orgánulo es una estructura subcelular especializada que desempeña una función específica dentro de la célula, similar a los órganos en un organismo multicelular. Estos componentes celulares están delimitados por membranas y son vitales para mantener la homeostasis celular y ejecutar las funciones necesarias para la supervivencia y

reproducción de la célula (Alberts et al., 2015). Los orgánulos incluyen estructuras como el núcleo, las mitocondrias, los cloroplastos en células vegetales, el retículo endoplasmático, el aparato de Golgi, los lisosomas, y los ribosomas, entre otros. La compartimentalización que ofrecen los orgánulos permite que las células realicen múltiples procesos bioquímicos de manera simultánea y eficiente, lo que es una característica distintiva de las células eucariotas en comparación con las procariotas, que carecen de muchos de estos orgánulos.

Retículo Endoplasmático y su Estructura

El retículo endoplasmático (RE) es un orgánulo extenso y membranoso que se extiende por todo el citoplasma de las células eucariotas. Se presenta en dos formas: el retículo endoplasmático rugoso (RER), que está cubierto de ribosomas, y el retículo endoplasmático liso (REL), que carece de ribosomas en su superficie. Estructuralmente, el RE consiste en una red de túbulos y sacos aplanados interconectados llamados cisternas, que están rodeados por una membrana de doble capa que separa su lumen (interior) del citoplasma (Alberts et al., 2015). Esta estructura permite al RE llevar a cabo diversas funciones, como la síntesis de proteínas, el procesamiento de lípidos y la detoxificación de sustancias químicas.

Retículo endoplásmico. Esquema de su Estructura



Fuente: Elaboración propia.

Retículo Endoplasmático Rugoso

El retículo endoplasmático rugoso (RER) se caracteriza por la presencia de ribosomas adheridos a su superficie externa, lo que le da su apariencia rugosa bajo el microscopio electrónico. Estos ribosomas están involucrados en la síntesis de proteínas, particularmente aquellas destinadas a ser secretadas fuera de la célula o enviadas a la membrana plasmática o a lisosomas. Las proteínas recién sintetizadas en el RER se introducen en su lumen, donde pueden ser modificadas, plegadas correctamente y enviadas al aparato de Golgi para su procesamiento adicional (Lodish et al., 2016).





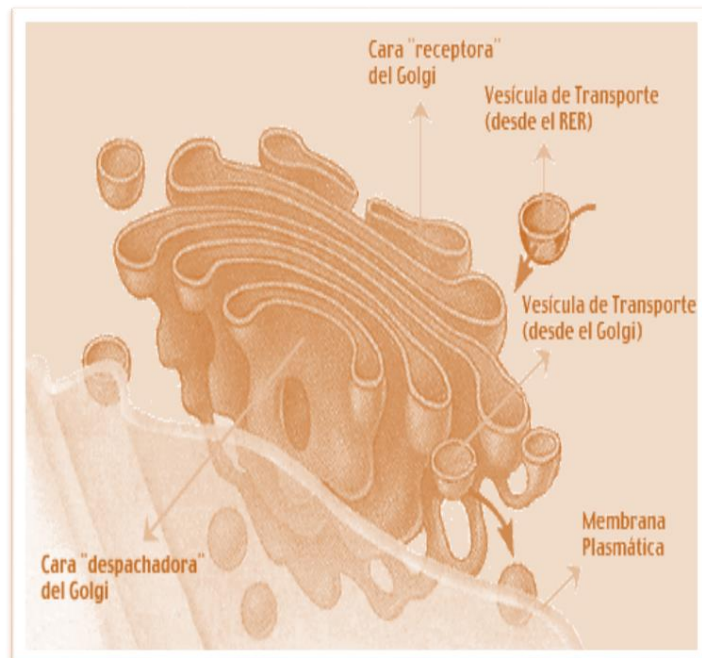
Retículo Endoplasmático Liso

El retículo endoplasmático liso (REL) carece de ribosomas en su superficie, lo que lo distingue del RER. El REL está involucrado en la síntesis de lípidos, incluyendo fosfolípidos y esteroides, y juega un papel crucial en la detoxificación de medicamentos y toxinas en el hígado. Además, el REL almacena iones de calcio, que son importantes en la señalización celular, particularmente en células musculares donde el REL, también conocido como retículo

sarcoplásmico, libera calcio para iniciar la contracción muscular (Alberts et al., 2015). La estructura del REL, con su red tubular extensa, está diseñada para maximizar su superficie interna, lo que facilita la síntesis y el procesamiento de grandes cantidades de lípidos y otras moléculas.

Aparato de Golgi: Estructura y Funciones

El aparato de Golgi es un orgánulo membranoso compuesto por una serie de sacos aplanados y apilados llamados cisternas. Este orgánulo está polarizado, con una cara cis que recibe vesículas procedentes del retículo endoplasmático y una cara trans que dirige las vesículas hacia su destino final, que puede ser

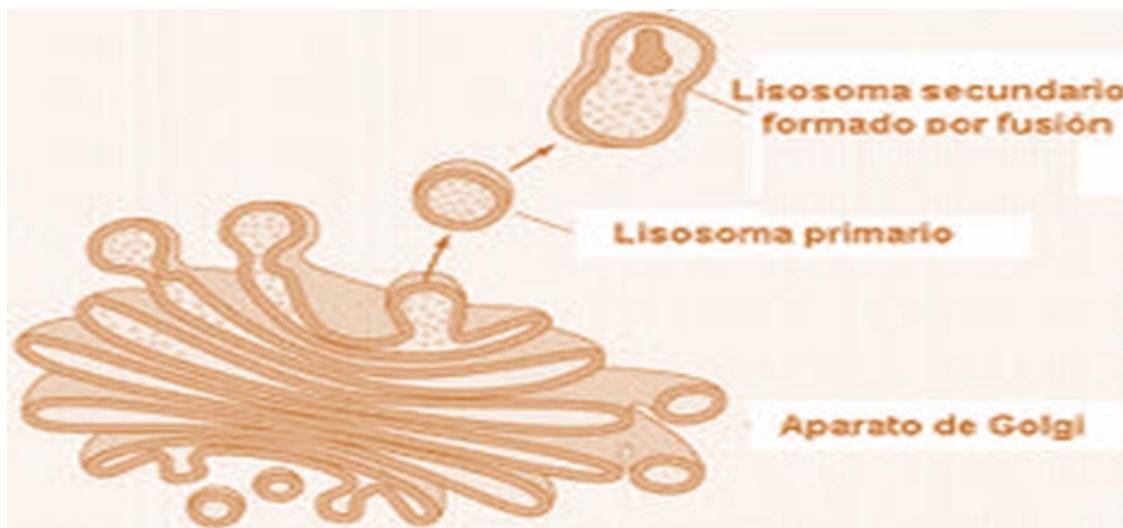


la membrana plasmática, los lisosomas o el exterior de la célula (Lodish et al., 2016). Funcionalmente, el aparato de Golgi es responsable de modificar, clasificar y empaquetar proteínas y lípidos para su transporte. Las proteínas que

pasan a través del Golgi pueden ser glicosiladas, fosforiladas o sulfatadas, lo que es crucial para su función y destino final. Además, el Golgi está involucrado en la producción de lisosomas y en la formación de vesículas de secreción, lo que lo convierte en un centro logístico de la célula.

Lisosomas

Los lisosomas son orgánulos membranosos que contienen enzimas digestivas, responsables de la degradación de materiales que la célula ingiere a través de la fagocitosis, así como de orgánulos dañados y desechos celulares en un proceso llamado autofagia (Alberts et al., 2015). La membrana de los lisosomas es única, ya que protege al citoplasma de las enzimas hidrolíticas que contienen, las cuales son activas a un pH ácido, que se mantiene por la bomba de protones en la membrana lisosomal. Los lisosomas desempeñan un papel crucial en la defensa celular, la reparación de la membrana plasmática y la regulación de la apoptosis (muerte celular programada). Además, los defectos en la función lisosomal están relacionados con varias enfermedades, incluyendo trastornos de almacenamiento lisosomal como la enfermedad de Tay-Sachs.



Fuente: Elaboración propia.

Ribosomas

Los ribosomas son complejos macromoleculares compuestos de ARN ribosomal (ARNr) y proteínas, que son esenciales para la síntesis de proteínas. Estos orgánulos se encuentran tanto en células procariotas como eucariotas, aunque con diferencias notables en su estructura y función (Watson et al., 2013). Los ribosomas pueden estar



libres en el citoplasma o unidos a la membrana del retículo endoplasmático rugoso. En las células eucariotas, los ribosomas tienen una subunidad mayor (60S) y una subunidad menor (40S), mientras que en las procariotas, los ribosomas son más pequeños, con una subunidad mayor (50S) y una subunidad menor (30S). La principal función de los ribosomas es traducir el ARNm en proteínas, un proceso fundamental para la expresión génica.

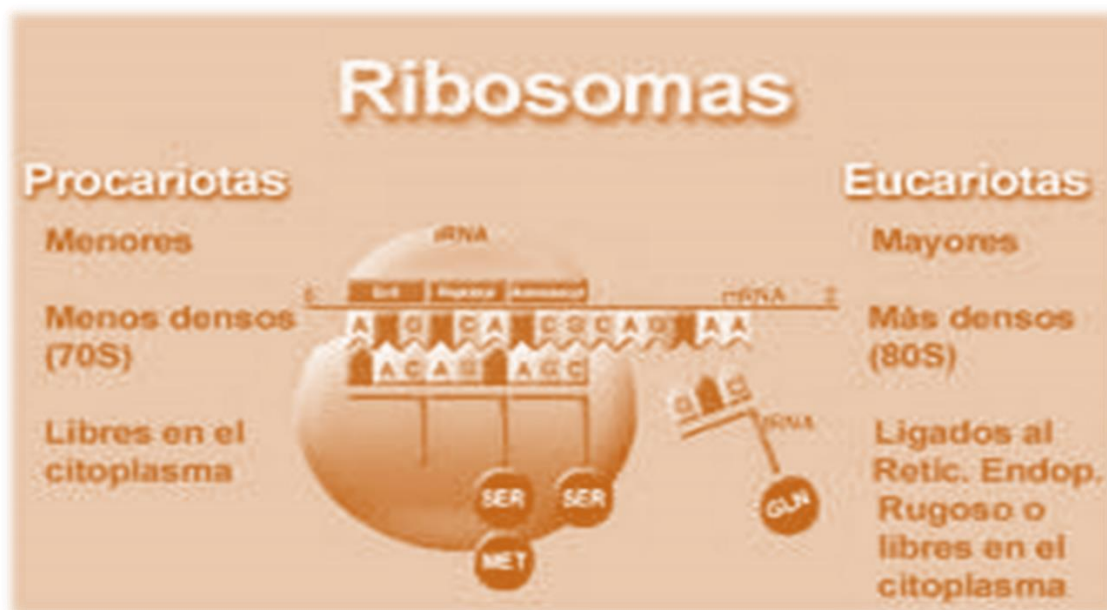
Diferencias del Ribosoma en las Células Eucariotas y Procariotas

Las diferencias entre los ribosomas de células eucariotas y procariotas son significativas y reflejan la divergencia evolutiva entre estos dos tipos de células. En términos de tamaño, los ribosomas eucariotas son más grandes, con un coeficiente de sedimentación de 80S, en comparación con los 70S de los ribosomas procariotas (Watson et al., 2013). Además, la composición proteica y del ARN ribosomal varía, lo que afecta la sensibilidad de los ribosomas a antibióticos que pueden inhibir la síntesis proteica en bacterias sin afectar a las células eucariotas. Estas diferencias son cruciales desde una perspectiva farmacológica, ya que permiten el desarrollo de antibióticos que específicamente atacan a las bacterias sin dañar las células humanas.

Los orgánulos como el retículo endoplasmático, el aparato de Golgi, los lisosomas y los ribosomas desempeñan funciones esenciales en las células eucariotas, permitiendo la síntesis, modificación y transporte de biomoléculas.

Cada orgánulo tiene una estructura especializada que le permite realizar sus funciones de manera eficiente, y las diferencias entre los ribosomas de células eucariotas y procariotas subrayan la complejidad evolutiva y funcional de la vida celular. El estudio detallado de estos orgánulos no solo es fundamental para comprender la biología celular, sino que también tiene importantes aplicaciones en medicina y biotecnología.

Las proteínas son macromoléculas esenciales en la biología celular, ya que desempeñan una variedad de funciones vitales que permiten el desarrollo, mantenimiento y funcionamiento de la vida. Desde su papel estructural hasta su participación en procesos reguladores, de transporte, defensa, catálisis enzimática y contracción muscular, las proteínas son verdaderos pilares de la materia viva. Este análisis profundiza en qué son las proteínas, por qué son constituyentes fundamentales en la materia viva, y cómo se sintetizan, explorando cada una de sus funciones específicas en detalle.

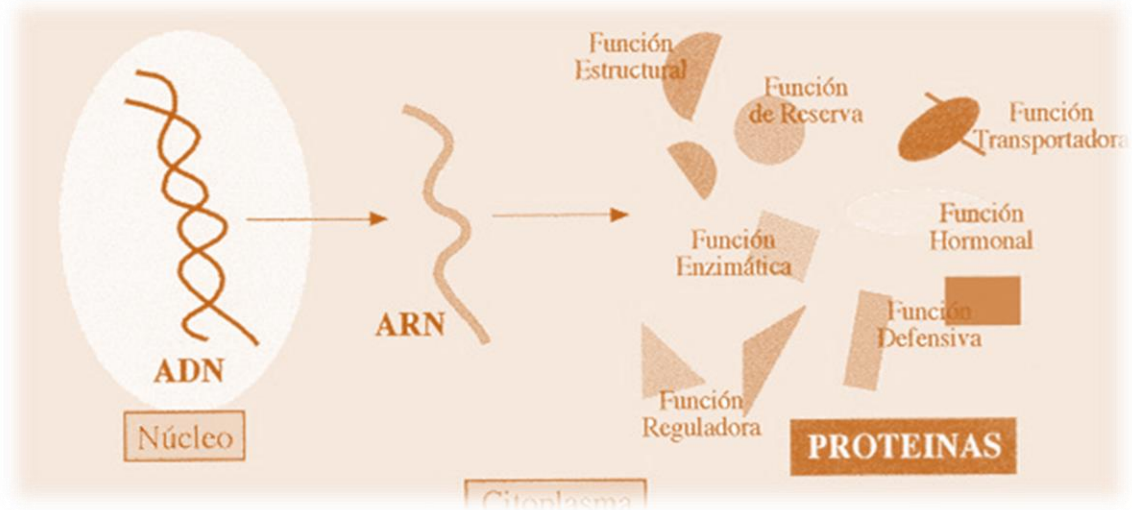


Fuente: Elaboración propia.

¿Qué son Proteínas?

Las proteínas son macromoléculas compuestas por cadenas de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. Existen 20 aminoácidos diferentes que se combinan en secuencias específicas para formar las diversas proteínas que existen en los organismos vivos (Berg et al., 2015). La estructura de una proteína

se organiza en cuatro niveles: la estructura primaria (la secuencia lineal de aminoácidos), la estructura secundaria (α -hélices y β -hojas formadas por enlaces de hidrógeno), la estructura terciaria (la conformación tridimensional de la proteína), y la estructura cuaternaria (la unión de varias cadenas polipeptídicas en una proteína funcional). Esta complejidad estructural permite a las proteínas realizar una amplia gama de funciones biológicas.



Fuente: Elaboración propia.

¿Por Qué Son Constituyentes Químicos Fundamentales e Imprescindibles en la Materia Viva?

Las proteínas son esenciales porque participan en prácticamente todos los procesos celulares. No solo proporcionan soporte estructural y forma a las células, sino que también regulan el metabolismo a través de enzimas, transportan moléculas vitales, defienden al organismo contra patógenos, y permiten la contracción de músculos, entre otras funciones. La diversidad de funciones que las proteínas pueden desempeñar se debe a la variabilidad en sus estructuras, lo que les permite interactuar de manera específica con otras moléculas dentro del organismo (Nelson & Cox, 2017). Además, las proteínas son dinámicas, capaces de cambiar su forma y función en respuesta a señales celulares, lo que las convierte en reguladoras clave de la vida.

Funciones de las Proteínas

Función Estructural: Colágeno y Queratina

Las proteínas estructurales son responsables de mantener la forma y estabilidad de las células y tejidos. El colágeno, por ejemplo, es la proteína más abundante en los mamíferos y proporciona resistencia y flexibilidad a los tejidos conectivos como la piel, los tendones y los huesos (Shoulders & Raines, 2009). Por otro lado, la queratina es una proteína estructural clave en la piel, el cabello y las uñas, protegiendo las células epiteliales de daños mecánicos y estrés (Langbein & Schweizer, 2005). Estas proteínas forman redes fibrilares que confieren resistencia mecánica y elasticidad a las estructuras biológicas.

Función Reguladora: Insulina y H. Somatotropina

Las proteínas reguladoras, como las hormonas, desempeñan un papel crucial en la señalización celular y en la regulación de procesos fisiológicos. La insulina es una hormona proteica producida por el páncreas que regula los niveles de glucosa en la sangre al facilitar la absorción de glucosa por las células (Kahn & Roth, 2005). La hormona somatotropina, también conocida como hormona de crecimiento, es otra proteína reguladora que promueve el crecimiento y la división celular, especialmente durante la infancia y la adolescencia (Melmed, 2011). Ambas hormonas son ejemplos de cómo las proteínas pueden actuar como señales químicas que modulan las funciones biológicas.

Función Transportadora: Hemoglobina

Las proteínas transportadoras son responsables de mover moléculas esenciales dentro del cuerpo. La hemoglobina es una proteína clave que transporta oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos y devuelve dióxido de carbono desde los tejidos a los pulmones para su exhalación (Perutz, 1970). Cada molécula de hemoglobina puede unir hasta cuatro moléculas de oxígeno, lo que la convierte en un componente vital del sistema circulatorio. Su estructura cuaternaria, compuesta por cuatro subunidades polipeptídicas, es crucial para su función de transporte eficiente de gases.

Función Defensiva: Anticuerpos

Los anticuerpos, o inmunoglobulinas, son proteínas del sistema inmunológico que identifican y neutralizan patógenos como bacterias y virus (Janeway et al., 2001). Cada anticuerpo es específico para un antígeno particular, lo que permite al sistema inmunológico detectar y combatir una amplia variedad de amenazas. Los anticuerpos funcionan marcando a los patógenos para su destrucción o neutralización, lo que es esencial para la defensa del organismo contra enfermedades.

Función Enzimática: Sacarasa y Pepsina

Las enzimas son proteínas que catalizan reacciones bioquímicas, acelerando las tasas de reacción sin ser consumidas en el proceso. La sacarasa es una enzima que cataliza la hidrólisis de sacarosa en glucosa y fructosa, dos azúcares simples que pueden ser utilizados por el cuerpo para obtener energía (Berg et al., 2015). La pepsina es una enzima digestiva que descompone las proteínas en el estómago, facilitando su digestión (Fruton, 2002). La especificidad de las enzimas para sus sustratos y su capacidad de reducir la energía de activación de las reacciones las convierte en actores fundamentales en el metabolismo celular.

Función Contráctil: Actina y Miosina

Las proteínas contráctiles, como la actina y la miosina, son esenciales para la contracción muscular y, por lo tanto, para el movimiento. En las células musculares, la miosina se une a la actina y utiliza energía derivada del ATP para generar la fuerza necesaria para la contracción muscular (Sweeney & Hammers, 2018). Este proceso es fundamental no solo para el movimiento voluntario, sino también para funciones involuntarias como el bombeo de sangre por el corazón y la peristalsis en el tracto digestivo.

Síntesis de Proteínas

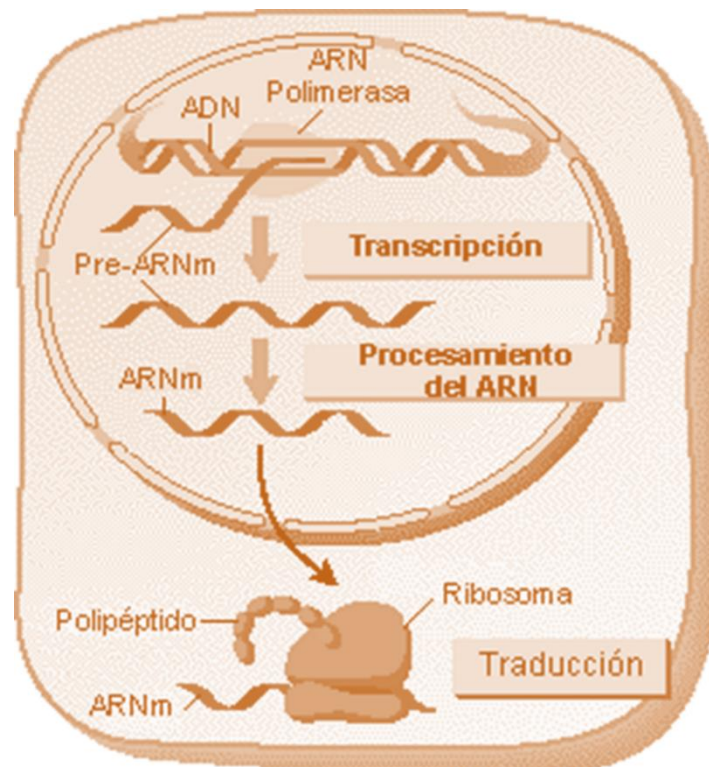
La síntesis de proteínas es un proceso biológico complejo que convierte la información genética codificada en el ADN en proteínas funcionales. Este proceso se lleva a cabo en dos etapas principales: transcripción y traducción

(Lodish et al., 2016). Durante la transcripción, la información en un gen se copia a una molécula de ARN mensajero (ARNm), que luego se traduce en la secuencia de aminoácidos de una proteína en los ribosomas.

Etapas de la Síntesis de Proteínas

Transcripción

La transcripción es el primer paso en la síntesis de proteínas, donde la información de una secuencia de ADN se transcribe a ARN mensajero. Durante la transcripción, la enzima ARN polimerasa se une al ADN en una región promotora, desenrollando la doble hélice y copiando uno de los filamentos de ADN en una cadena complementaria de ARN (Watson et al., 2013). En este proceso, el apareamiento de bases sigue reglas específicas: A-T, G-C en ADN y A-U, G-C en el ARN. La precisión en el apareamiento de bases es crucial para asegurar que la secuencia de ARN mensajero refleje correctamente la secuencia de ADN.



Fuente: Elaboración propia.

Traducción

La traducción es el proceso mediante el cual el ARN mensajero es decodificado en una secuencia de aminoácidos, formando una proteína. Este proceso se lleva a cabo en los ribosomas y requiere la participación de varios componentes clave.

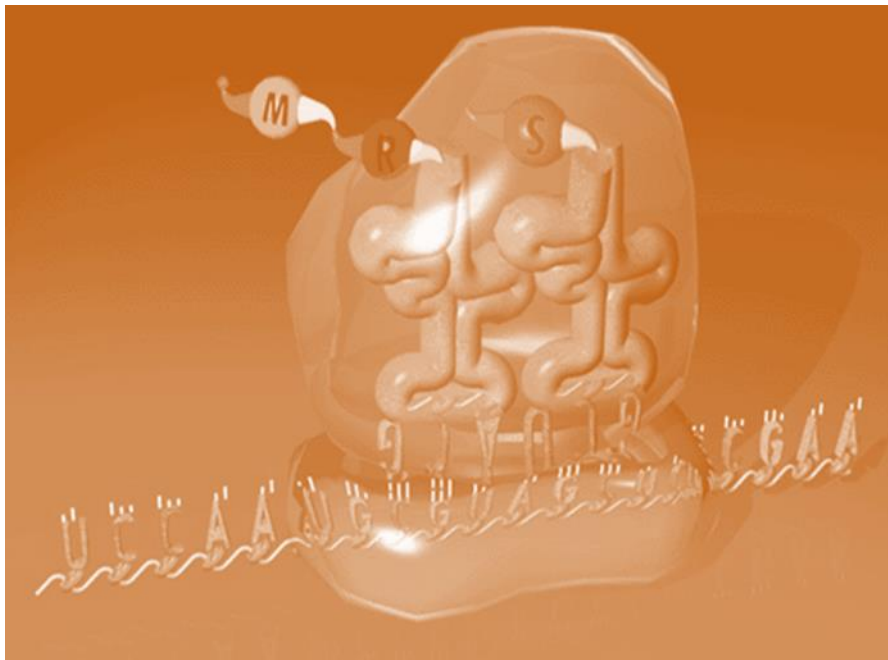
Componentes de la Traducción

ARN Mensajero (ARNm): Transporta la información genética desde el núcleo hasta el ribosoma, donde se traduce en una cadena de aminoácidos.

ARN de Transferencia (ARNt): Moléculas que transportan aminoácidos específicos al ribosoma, donde sus anticodones se aparean con los codones del ARNm.

Aminoácidos: Son los bloques de construcción de las proteínas. Se ensamblan en una secuencia específica dictada por el ARNm.

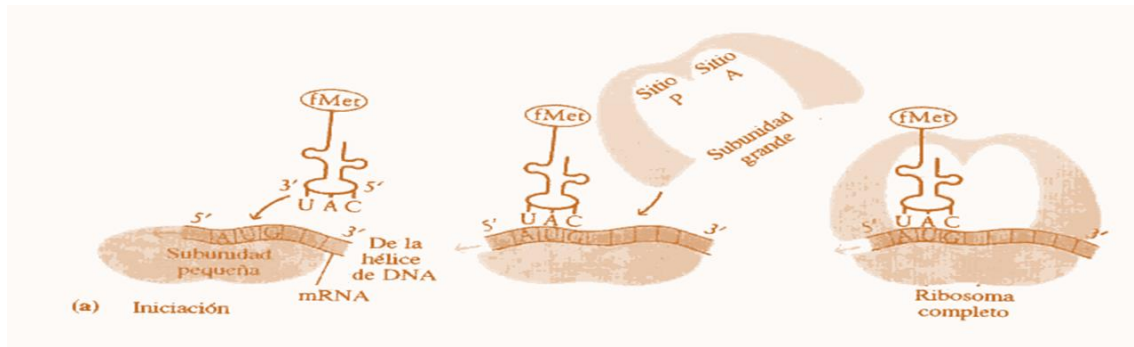
Ribosomas: Orgánulos donde se lleva a cabo la traducción. Los ribosomas catalizan la formación de enlaces peptídicos entre aminoácidos, construyendo la cadena polipeptídica (Watson et al., 2013).



Fuente: Elaboración propia.

Iniciación

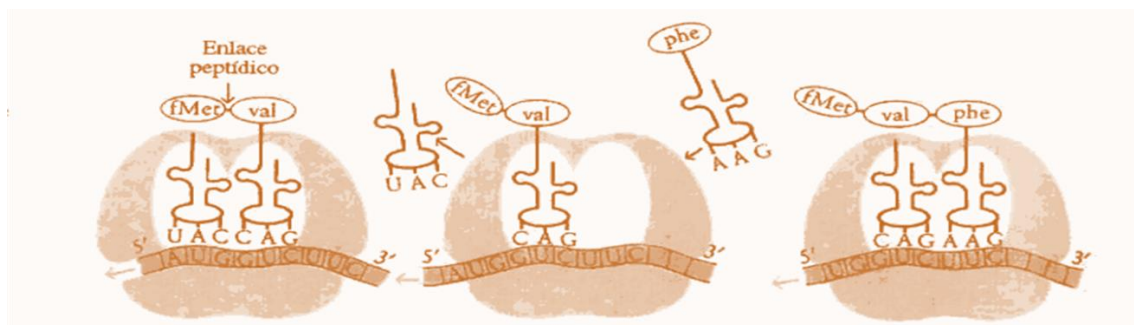
La iniciación de la traducción comienza cuando el ribosoma se une al extremo 5' del ARNm y el ARNt iniciador se aparea con el codón de inicio (generalmente AUG) en el ARNm. Esta etapa es crucial, ya que establece el marco de lectura correcto para la síntesis de proteínas (Lodish et al., 2016).



Fuente: Elaboración propia.

Elongación

Durante la elongación, el ribosoma se desplaza a lo largo del ARNm, agregando aminoácidos a la cadena polipeptídica en crecimiento. Cada ciclo de elongación implica la entrada de un ARNt cargado en el sitio A del ribosoma, la formación de un enlace peptídico entre el aminoácido en el sitio P y el nuevo aminoácido en el sitio A, y la translocación del ribosoma a lo largo del ARNm (Berg et al., 2015).



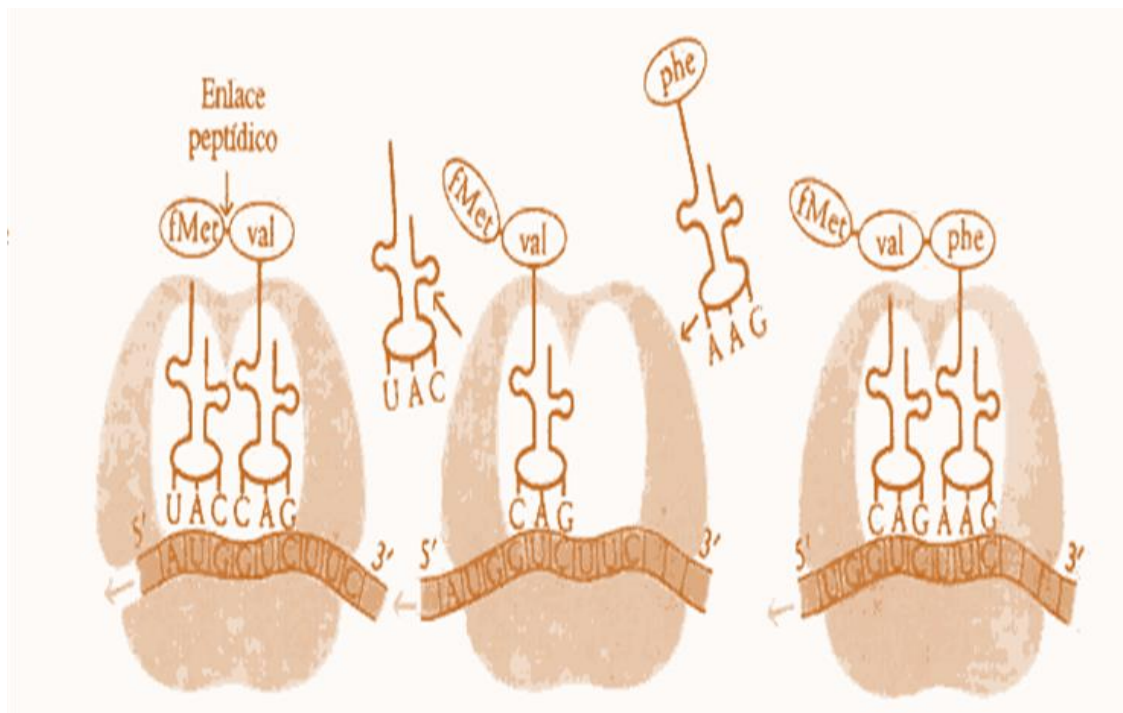
Fuente: Elaboración propia.

Terminación

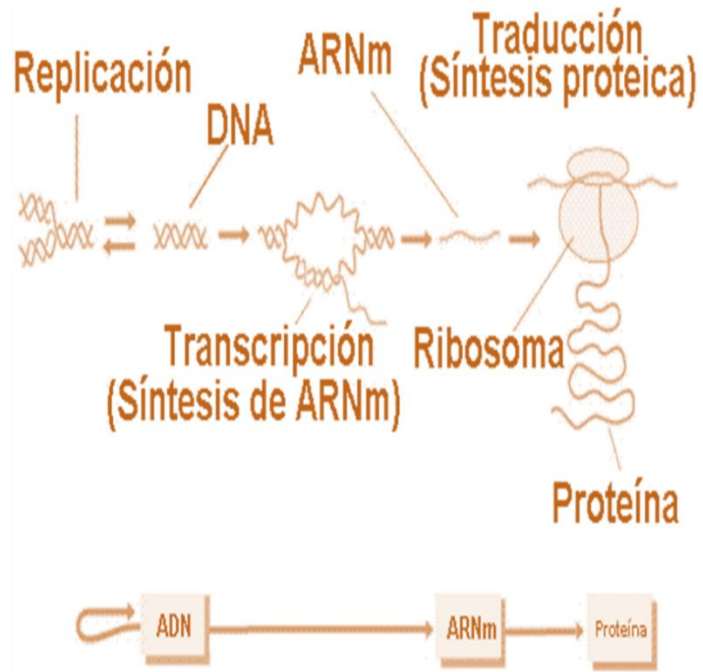
La terminación ocurre cuando el ribosoma encuentra un codón de parada en el ARNm, lo que desencadena la liberación de la cadena polipeptídica recién

sintetizada y la disociación del complejo ribosoma-ARNm (Watson et al., 2013). Esta etapa finaliza la síntesis de proteínas y marca el inicio de las modificaciones postraduccionales que la proteína pueda requerir antes de ser funcional.

Las proteínas son fundamentales para la vida, desempeñando una vasta gama de funciones críticas en los organismos vivos. Desde la estructura celular hasta la regulación, el transporte, la defensa, la catálisis enzimática y la contracción muscular, estas macromoléculas son responsables de mantener la homeostasis y permitir la respuesta a estímulos en el entorno celular. La síntesis de proteínas, un proceso altamente regulado y preciso, asegura que las proteínas se produzcan de acuerdo con las necesidades de la célula, manteniendo el equilibrio y la funcionalidad en todos los niveles de la vida. La comprensión detallada de la función y síntesis de proteínas es esencial no solo para la biología básica, sino también para campos aplicados como la medicina, la biotecnología y la investigación biomédica.



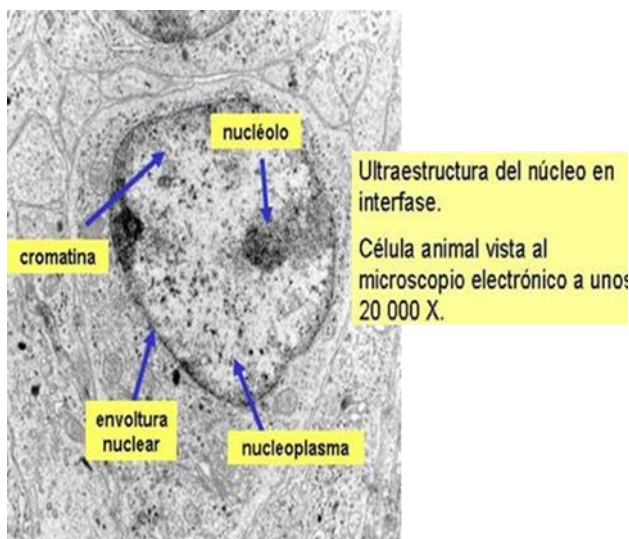
- Transcripción
- Traducción
 - Iniciación
 - Elongación
 - Terminación



Fuente: Elaboración propia.

Núcleo

El núcleo es una estructura fundamental en las células eucariotas, actuando como el centro de control que alberga la mayor parte del material genético de la célula. Es el sitio principal de la replicación del ADN y la transcripción del ARN, procesos esenciales para la expresión genética y la regulación celular. El núcleo está rodeado por la envoltura nuclear, una doble membrana que separa el contenido nuclear del citoplasma, y contiene el nucleoplasma, una matriz gelatinosa donde se encuentran los cromosomas y el nucléolo (Alberts et al., 2015). La envoltura nuclear está perforada por poros nucleares que regulan el intercambio de sustancias entre el núcleo y el citoplasma, asegurando que solo las moléculas necesarias, como el ARN mensajero y las proteínas, puedan entrar o salir del núcleo.



Fuente: Sánchez, 2020

El nucléolo, una estructura prominente dentro del núcleo, es el sitio de síntesis y ensamblaje de ribosomas. En el nucléolo, se transcriben y procesan los ARN ribosómicos (ARNr) y se ensamblan con proteínas ribosomales importadas del citoplasma para formar subunidades ribosomales, que luego son exportadas al

citoplasma para participar en la síntesis de proteínas (Boisvert et al., 2007). Además de su papel en la síntesis de ribosomas, el núcleo también es el lugar donde se organiza la cromatina, una combinación de ADN y proteínas que se compacta para formar los cromosomas durante la división celular.

Cromosomas



Los cromosomas son estructuras altamente organizadas compuestas de ADN y proteínas asociadas que contienen la información genética de un organismo. En las células eucariotas, los cromosomas se encuentran en el núcleo y su número es específico para cada especie. Por ejemplo, los humanos tienen 46 cromosomas organizados en 23 pares (Wolffe, 1998). Los

cromosomas aseguran la distribución precisa del material genético durante la división celular, un proceso esencial para la reproducción, el crecimiento y la reparación de tejidos.

Los cromosomas están compuestos por cromatina, una compleja estructura de ADN y proteínas histonas. Durante la interfase del ciclo celular, la cromatina está en su estado más descondensado, permitiendo la transcripción y replicación del ADN. Sin embargo, durante la mitosis, la cromatina se condensa en estructuras

visibles como cromosomas, lo que facilita la segregación precisa de la información genética entre las células hijas (Gibcus & Dekker, 2013). Cada cromosoma tiene un centrómero, una región altamente condensada que juega un papel crucial en la separación de cromátidas hermanas durante la mitosis.

Estructura del Cromosoma



Fuente: Elaboracion propia.

La estructura de un cromosoma es fundamental para su función en la división celular y la herencia genética. Cada cromosoma consiste en dos cromátidas hermanas unidas por un centrómero. Las cromátidas hermanas son copias idénticas de ADN que se generan durante la replicación del ADN y se separan durante la división celular para asegurar que cada célula hija reciba una copia completa del genoma (Flemming, 2017).

Los telómeros, que son secuencias repetitivas de ADN en los extremos de los cromosomas, protegen los cromosomas de la degradación y evitan que se fusionen con otros cromosomas. Estas regiones son esenciales para mantener la estabilidad del genoma y prevenir la pérdida de información genética durante la replicación del ADN (Blackburn, 2005). Los telómeros se acortan con cada

ciclo de división celular, lo que está relacionado con el envejecimiento celular y la senescencia.

La región centromérica es otra parte crucial de la estructura cromosómica. Los centrómeros no solo mantienen unidas a las cromátidas hermanas, sino que también son los puntos de anclaje para los microtúbulos del huso mitótico durante la mitosis y la meiosis, permitiendo la correcta segregación de cromosomas (Henikoff & Dalal, 2005).

Clasificación del Cromosoma

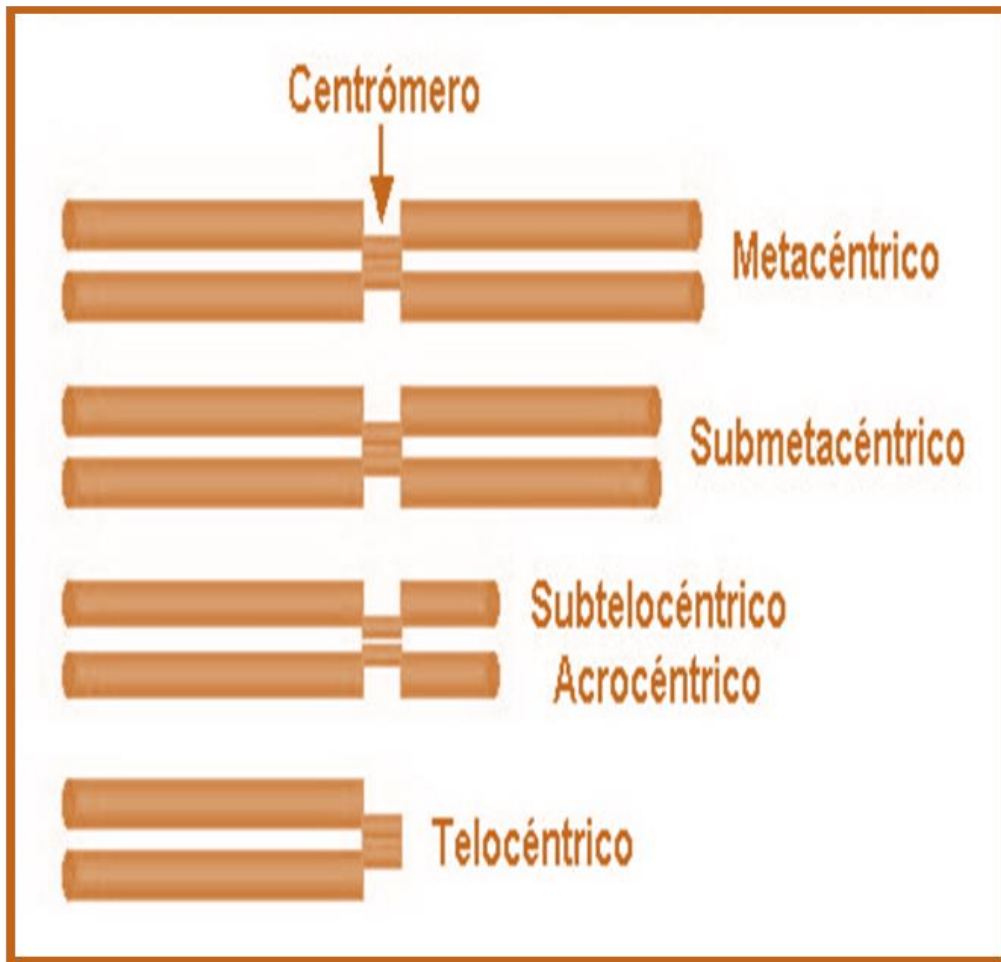
Los cromosomas pueden clasificarse en cuatro tipos principales según la posición del centrómero: metacéntricos, submetacéntricos, acrocéntricos y telocéntricos (o subtelocéntricos en algunas clasificaciones). La posición del centrómero determina la longitud relativa de los brazos cortos (p) y largos (q) del cromosoma.

Cromosomas Metacéntricos: Estos cromosomas tienen el centrómero situado en el centro, resultando en brazos de igual longitud. Ejemplos de cromosomas metacéntricos se encuentran en varios organismos, incluyendo humanos, donde algunos de los cromosomas autosómicos son metacéntricos (Sumner, 2003).

Cromosomas Submetacéntricos: En estos cromosomas, el centrómero está desplazado hacia un extremo, haciendo que un brazo sea ligeramente más largo que el otro. La mayoría de los cromosomas humanos son submetacéntricos, incluidos varios autosomas importantes (Gersen & Keagle, 2013).

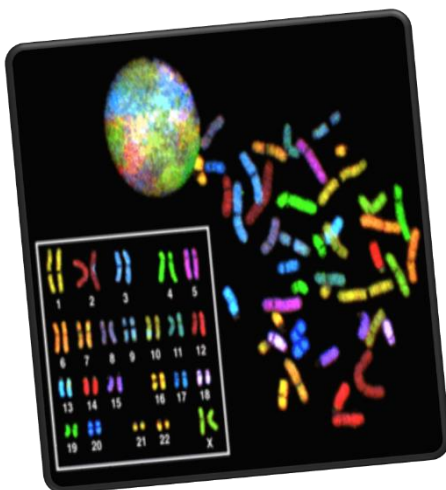
Cromosomas Acrocéntricos: Aquí, el centrómero está muy cerca de uno de los extremos, lo que da lugar a un brazo corto y otro largo. En los seres humanos, los cromosomas acrocéntricos incluyen los cromosomas 13, 14, 15, 21 y 22, los cuales contienen genes importantes para la formación de ARN ribosómico (Miller & Therman, 2001).

Cromosomas Telocéntricos: Estos cromosomas tienen el centrómero en un extremo, resultando en un solo brazo visible. Aunque no se encuentran en el genoma humano normal, los cromosomas telocéntricos son comunes en otros organismos, como algunos roedores (Beçak & Beçak, 1998).



Fuente: Elaboración propia.

Cariotipo



El cariotipo es la disposición y número de cromosomas en una célula, y su análisis es fundamental en genética para identificar variaciones y anomalías cromosómicas. En un cariotipo humano típico, se observan 22 pares de cromosomas autosómicos y un par de cromosomas sexuales (XX en mujeres y XY en hombres). El cariotipo se puede estudiar mediante técnicas de tinción cromosómica,

como la técnica de Giemsa, que permite la visualización de bandas oscuras y claras a lo largo de los cromosomas (Nussbaum et al., 2007). Estas bandas reflejan la organización estructural del ADN y las proteínas en los cromosomas

y son útiles para identificar anomalías estructurales, como deleciones, duplicaciones, translocaciones e inversiones.

El cariotipo es una herramienta clave en la medicina y la biología para el diagnóstico de enfermedades genéticas. Por ejemplo, el síndrome de Down se caracteriza por la presencia de un cromosoma 21 adicional, lo que se detecta fácilmente en un análisis de cariotipo (Antonarakis et al., 2004). Otras condiciones, como el síndrome de Turner o el síndrome de Klinefelter, también se diagnostican a través del análisis de cariotipos, lo que subraya la importancia de esta técnica en la genética clínica.

Alteraciones del Cariotipo

Las alteraciones del cariotipo, o aneuploidías, son variaciones en el número de cromosomas que pueden tener consecuencias significativas para la salud. Estas alteraciones pueden ser numéricas, como en la trisomía 21 (síndrome de Down) o en la monosomía X (síndrome de Turner), o estructurales, como en las translocaciones, donde se intercambian fragmentos de cromosomas entre sí (Nussbaum et al., 2007).

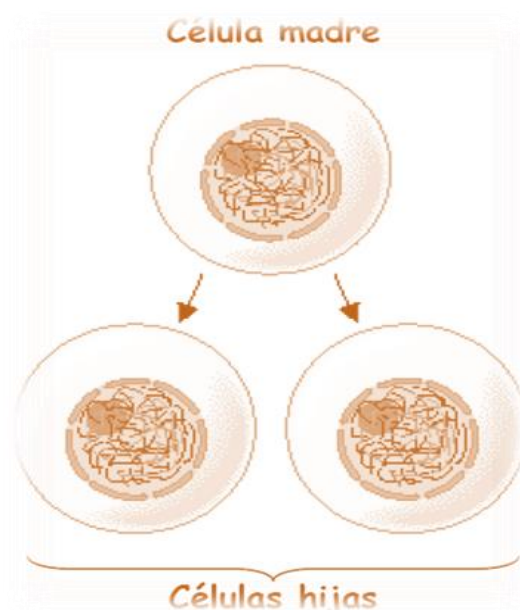
La trisomía 21 es una de las aneuploidías más comunes y se caracteriza por la presencia de un cromosoma 21 adicional, lo que resulta en un total de 47 cromosomas. Esta condición está asociada con retraso mental, características faciales distintivas y un mayor riesgo de problemas de salud, como defectos cardíacos congénitos y leucemia (Antonarakis et al., 2004). Aunque la trisomía 21 es la causa más conocida de síndrome de Down, existen otras trisomías viables, como la trisomía 18 (síndrome de Edwards) y la trisomía 13 (síndrome de Patau), que suelen ser letales en la primera infancia.

El síndrome de Turner, que afecta a las mujeres, es una condición en la que falta todo o parte de un cromosoma X, lo que resulta en una monosomía X. Las mujeres con síndrome de Turner suelen tener baja estatura, insuficiencia ovárica y otros problemas médicos, aunque muchas pueden llevar una vida relativamente normal con un manejo médico adecuado (Bondy, 2007).

Otra alteración estructural significativa es la translocación, que puede ser equilibrada o desequilibrada. En una translocación equilibrada, no hay pérdida ni ganancia de material genético, pero la reordenación de los cromosomas puede interrumpir genes y llevar a enfermedades genéticas o problemas reproductivos. En las translocaciones desequilibradas, el intercambio de material cromosómico resulta en una ganancia o pérdida de material genético, lo que puede provocar enfermedades graves o muerte fetal (Gardner & Sutherland, 2004).

Ciclo Celular

El ciclo celular es un proceso fundamental que permite a las células crecer, replicar su material genético, y dividirse en dos células hijas. Este ciclo es esencial para la reproducción, el desarrollo, y la reparación de los tejidos en organismos multicelulares, así como para la reproducción asexual en organismos unicelulares. La comprensión del ciclo celular es crucial en biología y medicina, ya que su desregulación está asociada con enfermedades como el cáncer (Alberts et al., 2015).



Fuente: Elaboración propia.

Generalidades del Ciclo Celular

El ciclo celular se puede dividir en varias etapas principales: crecimiento celular, replicación del ADN, distribución de los cromosomas duplicados a las células

hijas y división celular. Cada una de estas etapas es crucial para asegurar que las células hijas reciban una copia completa y precisa del material genético de la célula progenitora.

Crecimiento Celular

El crecimiento celular es la primera etapa del ciclo celular y se lleva a cabo principalmente durante la fase G1 de la interfase. Durante este periodo, la célula aumenta de tamaño, produce proteínas y orgánulos, y se prepara para la replicación del ADN. El crecimiento celular es esencial para que la célula alcance un tamaño adecuado antes de dividirse, lo que garantiza que las células hijas tengan suficientes recursos para sobrevivir y funcionar correctamente (Morgan, 2007).

Replicación del ADN

La replicación del ADN ocurre durante la fase S de la interfase. En esta fase, el ADN de la célula se duplica, asegurando que cada célula hija reciba una copia completa del genoma. Este proceso es altamente preciso y está regulado por una serie de enzimas, como la ADN polimerasa, que aseguran la fidelidad de la replicación. Cualquier error en la replicación puede llevar a mutaciones, que pueden tener consecuencias graves para la célula y el organismo en general (Alberts et al., 2015).

Distribución de los Cromosomas Duplicados a las Células Hijas

Después de la replicación del ADN, los cromosomas duplicados se distribuyen equitativamente entre las dos células hijas durante la división celular. Este proceso se lleva a cabo durante la mitosis, una fase crítica del ciclo celular. La distribución precisa de los cromosomas es esencial para mantener la estabilidad genética en las células hijas. Cualquier error en este proceso puede dar lugar a aneuploidías, que están asociadas con diversas enfermedades, incluido el cáncer (Morgan, 2007).

División Celular

La división celular es el proceso final del ciclo celular, en el cual la célula progenitora se divide en dos células hijas. Este proceso incluye la mitosis, donde se separan los cromosomas, y la citocinesis, donde el citoplasma de la célula se divide. La división celular es crucial para la reproducción, el crecimiento y la reparación de tejidos en organismos multicelulares (Alberts et al., 2015).



Fuente: Elaboración propia.

Fases del Ciclo Celular

El ciclo celular se divide en dos fases principales: la interfase y la fase de división celular. La interfase es un periodo de crecimiento y preparación para la división celular, mientras que la fase de división incluye la mitosis y la citocinesis.

Interfase

La interfase es la fase más larga del ciclo celular y se divide en cuatro subfases: G₁, S, G₂ y G₀. Durante la interfase, la célula crece, replica su ADN y se prepara para la división celular.

Fase G₁: La fase G₁ es el primer estadio de la interfase y es un periodo de crecimiento celular y síntesis de proteínas. Durante esta fase, la célula aumenta

de tamaño y produce los componentes necesarios para la replicación del ADN y la división celular. La fase G1 también incluye el punto de control G1, donde la célula evalúa si las condiciones son adecuadas para continuar con el ciclo celular. Si la célula no pasa este punto de control, puede entrar en la fase G0, un estado de reposo donde no se divide (Morgan, 2007).

Fase S: Durante la fase S, se produce la replicación del ADN. El ADN de la célula se duplica, lo que resulta en dos copias idénticas de cada cromosoma. La duplicación precisa del ADN es esencial para asegurar que cada célula hija reciba una copia completa del genoma. Cualquier error en este proceso puede dar lugar a mutaciones, que pueden tener consecuencias graves para la célula y el organismo (Alberts et al., 2015).

Fase G2: La fase G2 es el periodo final de la interfase, durante el cual la célula continúa creciendo y produciendo proteínas en preparación para la mitosis. Durante esta fase, la célula revisa el ADN replicado para asegurarse de que no haya errores y que esté listo para la división celular. Al final de la fase G2, la célula pasa por el punto de control G2, donde se verifica la integridad del ADN y se decide si la célula está lista para entrar en la mitosis (Morgan, 2007).

Fase G0: La fase G0 es un estado de reposo en el que las células salen del ciclo celular y no se dividen. Algunas células entran en la fase G0 de manera temporal y pueden reanudar el ciclo celular bajo ciertas condiciones, mientras que otras células, como las neuronas, pueden permanecer en G0 de forma permanente. La fase G0 es crucial para el control del ciclo celular y para la prevención de la proliferación celular descontrolada (Alberts et al., 2015).

División Celular

La fase de división celular incluye dos procesos principales: la mitosis y la citocinesis. Durante esta fase, la célula progenitora se divide en dos células hijas, cada una con una copia completa del material genético.

Cariocinesis (Mitosis y Meiosis): La mitosis es el proceso de división nuclear en el que los cromosomas duplicados se separan y se distribuyen en dos núcleos hijos. La mitosis se divide en varias etapas: profase, metafase, anafase y

telofase. Durante la profase, los cromosomas se condensan y se hacen visibles, y el huso mitótico comienza a formarse. En la metafase, los cromosomas se alinean en el centro de la célula. Durante la anafase, las cromátidas hermanas se separan y son arrastradas hacia los polos opuestos de la célula. En la telofase, los cromosomas llegan a los polos opuestos y el núcleo comienza a reformarse. La meiosis, por otro lado, es un proceso de división celular especializado que produce células sexuales con la mitad del número de cromosomas (Morgan, 2007).

Citocinesis: La citocinesis es el proceso final de la división celular, en el cual el citoplasma de la célula progenitora se divide para formar dos células hijas. Durante la citocinesis, un anillo contráctil de actina y miosina se forma alrededor de la célula y se contrae, dividiendo la célula en dos. La citocinesis asegura que cada célula hija reciba una cantidad equitativa de citoplasma y orgánulos, completando así el proceso de división celular (Alberts et al., 2015).

El ciclo celular es un proceso altamente regulado y complejo que es fundamental para la vida. Desde el crecimiento celular hasta la replicación del ADN y la división celular, cada fase del ciclo celular está cuidadosamente orquestada para asegurar la reproducción precisa y eficiente de las células. La comprensión del ciclo celular es esencial no solo para la biología básica, sino también para la medicina, ya que las alteraciones en el ciclo celular pueden conducir a enfermedades como el cáncer. La regulación precisa del ciclo celular, a través de puntos de control y señales moleculares, es crucial para mantener la homeostasis y la función celular.

Interfase

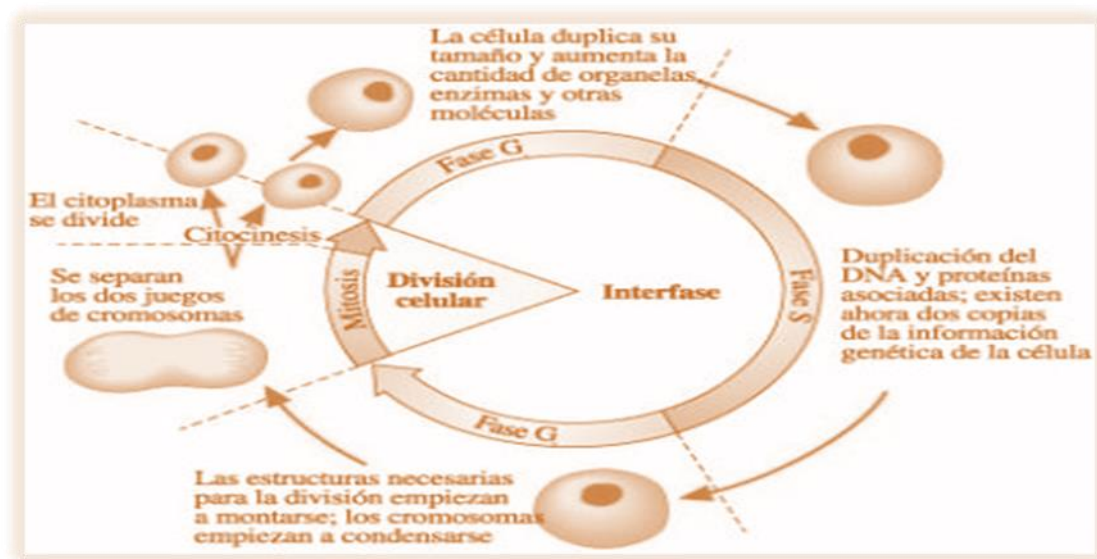
GAP o Intervalo o Lapso G1

El lapso G1, también conocido como la fase de crecimiento o la fase de pre-síntesis, es la primera de las cuatro fases del ciclo celular. Esta fase sigue a la mitosis y precede a la fase S, que es cuando se produce la síntesis de ADN. Durante G1, la célula experimenta un crecimiento significativo en tamaño y produce ARN y proteínas necesarias para la síntesis de ADN. Además, la célula

verifica si las condiciones ambientales y las señales internas son adecuadas para continuar el ciclo celular.

En la fase G1, la célula realiza una serie de actividades cruciales para su preparación para la replicación del ADN. Este es un momento de intensa actividad biosintética, donde se duplican los orgánulos y se sintetizan enzimas esenciales. También se producen importantes puntos de control del ciclo celular, como el punto de restricción (R), donde la célula decide si procederá a la fase S o si permanecerá en G1, o incluso si entrará en la fase G0, un estado de reposo en el que la célula no se divide (Morgan, 2007).

El paso por la fase G1 es fundamental, ya que determina si la célula está lista para duplicar su ADN y, eventualmente, dividirse. Las células que no logran superar los puntos de control de G1 pueden entrar en un estado de quiescencia o diferenciación, lo que les impide avanzar a las fases siguientes del ciclo celular. Por lo tanto, el lapso G1 es crucial para mantener la integridad del genoma y la viabilidad celular.



Fuente: Elaboración propia.

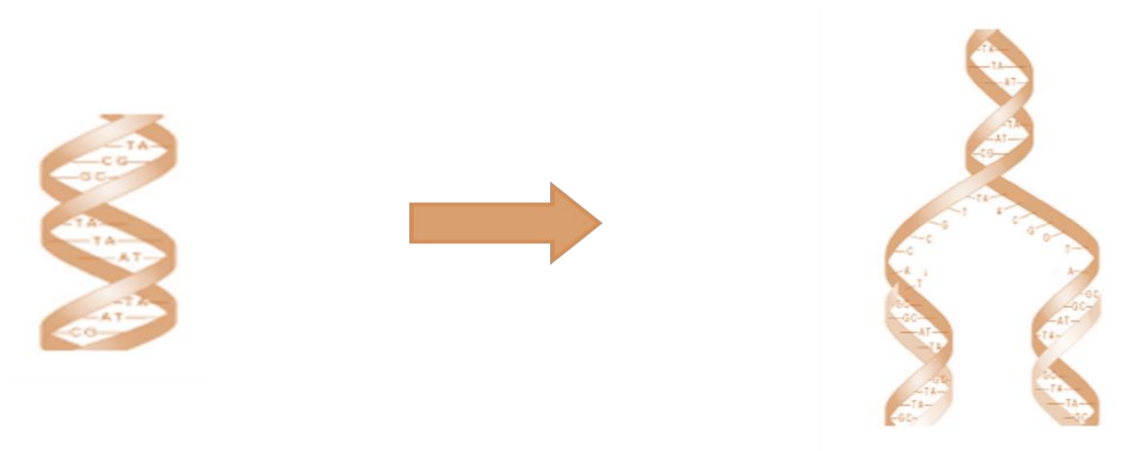
Síntesis de ADN - Fase S

La fase S del ciclo celular es donde ocurre la replicación del ADN, un proceso crítico que asegura que cada célula hija recibirá una copia completa del genoma

después de la división celular. Durante esta fase, cada cromosoma se duplica, resultando en la formación de cromátidas hermanas que están unidas por un centrómero.

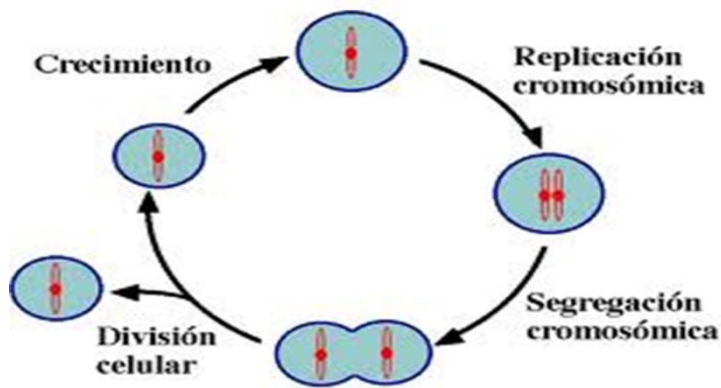
El proceso de replicación del ADN es altamente regulado y comienza en múltiples sitios a lo largo del ADN, conocidos como orígenes de replicación. En estos sitios, las helicasas desenrollan la doble hélice de ADN, permitiendo que las ADN polimerasas sinteticen nuevas cadenas complementarias de ADN. La replicación es semiconservativa, lo que significa que cada una de las nuevas moléculas de ADN contiene una cadena original y una nueva (Alberts et al., 2015).

Durante la fase S, no solo se duplica el ADN nuclear, sino también el ADN de las mitocondrias, lo que es esencial para garantizar que las células hijas tengan la capacidad de producir energía suficiente. La precisión en la replicación del ADN es vital para evitar mutaciones que puedan causar enfermedades genéticas o cáncer.



Fuente: Elaboracion propia.

Replicación del ADN Durante la Fase S



La replicación del ADN es un proceso altamente preciso y complejo que asegura la duplicación exacta del material genético. Inicia en los orígenes de replicación, donde las enzimas como la

helicasa abren la doble hélice de ADN. La ADN polimerasa añade nucleótidos complementarios a las cadenas molde, siguiendo las reglas de apareamiento de bases: adenina con timina y guanina con citosina.

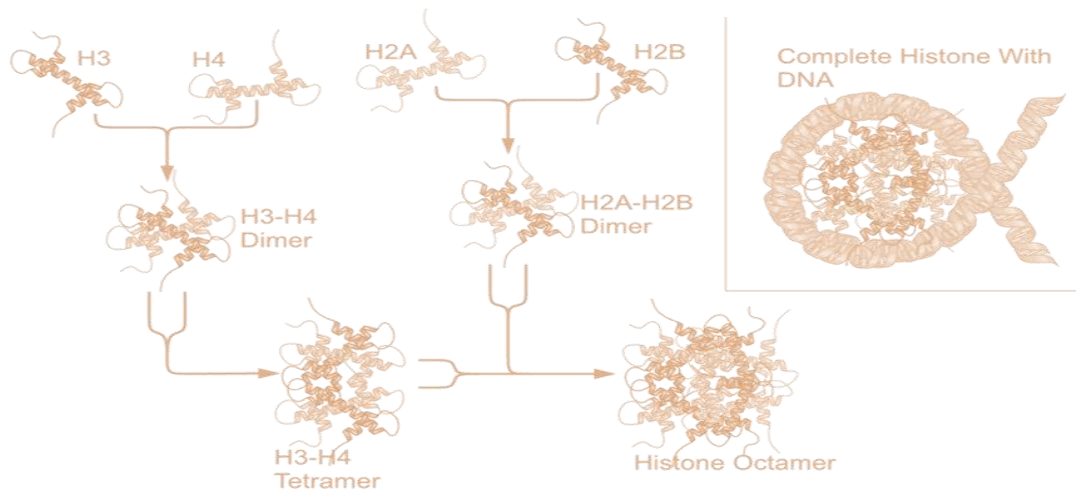
Este proceso es semidiscontinuo, con una cadena siendo replicada continuamente (cadena líder) y la otra de manera fragmentada (cadena rezagada), a través de fragmentos de Okazaki. La replicación es asistida por una variedad de proteínas, incluidas las ligasas, que unen los fragmentos de Okazaki, y las proteínas de unión al ADN de cadena simple, que estabilizan la hebra desenrollada (Alberts et al., 2015).

Una vez completada la replicación, las dos copias de cada cromosoma permanecen unidas como cromátidas hermanas hasta la mitosis, donde serán separadas para garantizar que cada célula hija reciba una copia exacta del genoma. Este mecanismo es esencial para la estabilidad genética y la prevención de errores que podrían conducir a condiciones patológicas como el cáncer.

Nucleosomas

Los nucleosomas son la unidad básica de organización de la cromatina en el núcleo de las células eucariotas. Cada nucleosoma consiste en un segmento de ADN de aproximadamente 147 pares de bases que se enrolla alrededor de un núcleo de histonas, que son proteínas altamente conservadas. Este núcleo está compuesto por un octámero de histonas, que incluye dos copias de cada una de las histonas H2A, H2B, H3 y H4 (Luger et al., 1997).

Los nucleosomas desempeñan un papel fundamental en la compactación del ADN y en la regulación de la expresión génica. Al empaquetar el ADN en nucleosomas, la célula puede regular el acceso de las enzimas y otras proteínas al ADN, controlando así la transcripción y otros procesos celulares. Además, las modificaciones postraduccionales de las histonas, como la metilación y la acetilación, pueden influir en la estructura de la cromatina y en la regulación de la expresión génica.

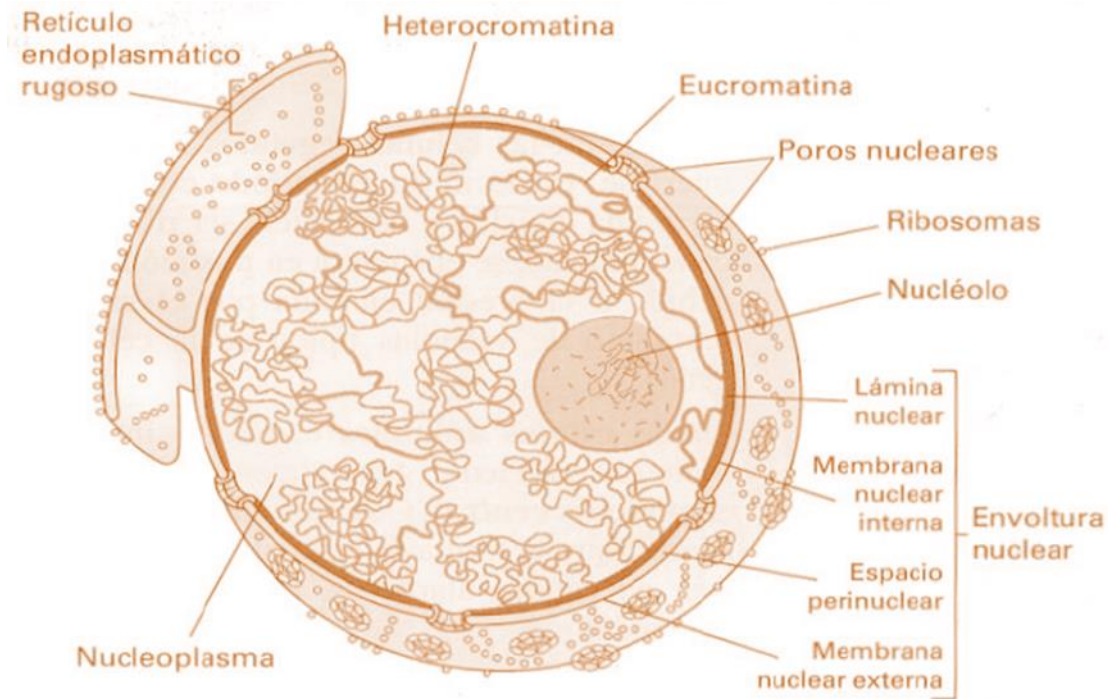


Fuente: Elaboración propia.

Cromatina

La cromatina es la sustancia que constituye los cromosomas eucarióticos. Está formada por ADN, histonas y otras proteínas. La cromatina se organiza en varios niveles de compactación, desde el nucleosoma hasta las fibras de cromatina más condensadas. Esta organización permite a las células empaquetar grandes cantidades de ADN en el núcleo mientras mantienen la accesibilidad para la transcripción, la replicación y la reparación del ADN.

La cromatina puede existir en dos formas principales: eucromatina y heterocromatina. La eucromatina es la forma menos compacta de la cromatina y está asociada con regiones activamente transcritas del genoma. En contraste, la heterocromatina es más densa y generalmente está asociada con regiones transcripcionalmente inactivas (Alberts et al., 2015).



Fuente: Elaboracion propia.

Tipos de Cromatina: Eucromatina y Heterocromatina

La eucromatina es una forma de cromatina que está menos condensada y es transcripcionalmente activa, lo que significa que los genes en estas regiones están generalmente disponibles para ser transcritos. La estructura más abierta de la eucromatina permite el acceso de factores de transcripción y maquinaria de replicación, facilitando así la expresión génica y la duplicación del ADN (Grewal & Jia, 2007).

Por otro lado, la heterocromatina es una forma de cromatina que está altamente condensada y es transcripcionalmente inactiva. Existen dos tipos de heterocromatina: constitutiva y facultativa. La heterocromatina constitutiva está permanentemente inactiva y se encuentra en regiones del genoma como los centrómeros y telómeros, donde desempeña un papel estructural crucial en la estabilidad del cromosoma. La heterocromatina facultativa, en cambio, puede descondensarse y activarse para la transcripción bajo ciertas condiciones, como en el caso del cromosoma X inactivo en las hembras de mamíferos (Grewal & Jia, 2007).

G2: Finalización del Crecimiento Celular

La fase G2 del ciclo celular es un periodo de crecimiento y preparación para la mitosis. Durante G2, la célula sigue creciendo y produciendo proteínas, y revisa el ADN replicado para asegurar que no haya errores. Esta fase incluye un punto de control crucial, el punto de control G2/M, donde la célula verifica la integridad del ADN antes de entrar en la mitosis. Si se detectan daños en el ADN, la célula puede detenerse en G2 para permitir la reparación antes de proceder a la división celular (Morgan, 2007).

G2 es, por tanto, una fase crucial para la integridad genética y la viabilidad celular, ya que asegura que la célula está completamente preparada para la mitosis. Las fallas en el punto de control de G2/M pueden resultar en la proliferación de células con daños en el ADN, lo que puede conducir al desarrollo de enfermedades como el cáncer.

G0: Diferenciación Celular

La fase G0 es un estado de reposo o quiescencia en el que las células salen del ciclo celular activo y no se dividen. Las células en G0 pueden ser células que han alcanzado la diferenciación terminal y no necesitan dividirse más, como las neuronas, o células que pueden reactivar el ciclo celular en respuesta a señales externas, como las células madre.

La diferenciación celular es el proceso mediante el cual las células en G0 adquieren características especializadas y se convierten en tipos celulares específicos, como células musculares, nerviosas o sanguíneas. Este proceso es fundamental para el desarrollo y la función de los organismos multicelulares, ya que permite la formación de tejidos y órganos con funciones específicas (Slack, 2002).

Las Células en Fase G0

Las células en fase G0 pueden ser consideradas como células en estado de reposo o inactividad. No están involucradas en el ciclo celular activo y no se preparan para dividirse. Estas células pueden permanecer en G0

indefinidamente, entrar en G1 para reactivar el ciclo celular, o entrar en un estado de diferenciación terminal donde no se dividirán más.

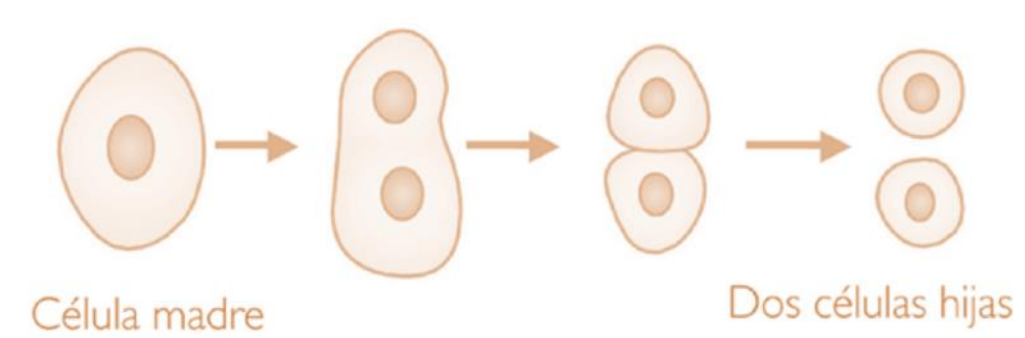
Las células en G0 desempeñan funciones críticas en el organismo. Por ejemplo, las neuronas y las células musculares cardíacas son células altamente diferenciadas que permanecen en G0 y no se dividen, pero desempeñan funciones esenciales en el sistema nervioso y el corazón, respectivamente. Las células madre, por otro lado, pueden salir de G0 en respuesta a señales para regenerar tejidos o responder a daños (Slack, 2002).

Tipos de División Celular

La división celular es un proceso complejo y diverso que se manifiesta en varias formas según el organismo y el contexto celular. Los principales tipos de división celular incluyen la cariocinesis, la citocinesis, la pluripartición, la esporulación, la gemación y la mitosis.

Cariocinesis y Citocinesis

La cariocinesis es la división del núcleo de la célula. Durante la cariocinesis, el material genético (ADN) se distribuye equitativamente entre las células hijas. En células eucariotas, este proceso se denomina mitosis (para la división celular somática) o meiosis (para la formación de gametos). La cariocinesis asegura que cada célula hija reciba una copia completa del genoma de la célula progenitora.



Fuente: Elaboración propia.

La citocinesis es el proceso que sigue a la cariocinesis y se refiere a la división del citoplasma de la célula, resultando en la formación de dos células hijas. En las células animales, la citocinesis se realiza mediante la formación de un anillo

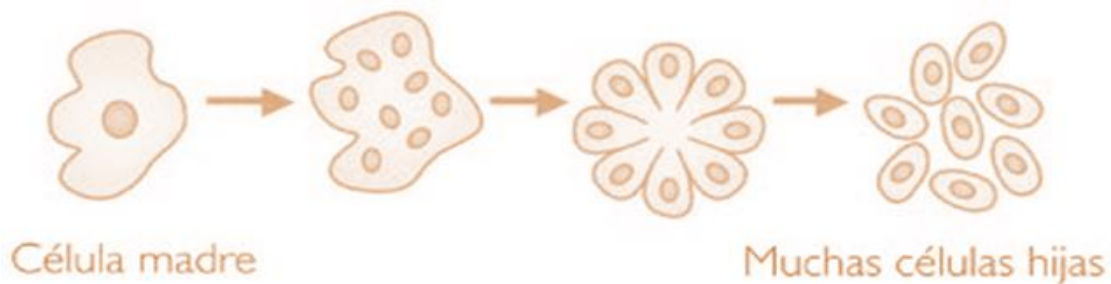
contráctil que estrangula el citoplasma hasta que la célula se divide en dos. En las células vegetales, la citocinesis ocurre a través de la formación de una placa celular que separa las dos células hijas (Alberts et al., 2015).



Fuente: Elaboracion propia.

Pluripartición

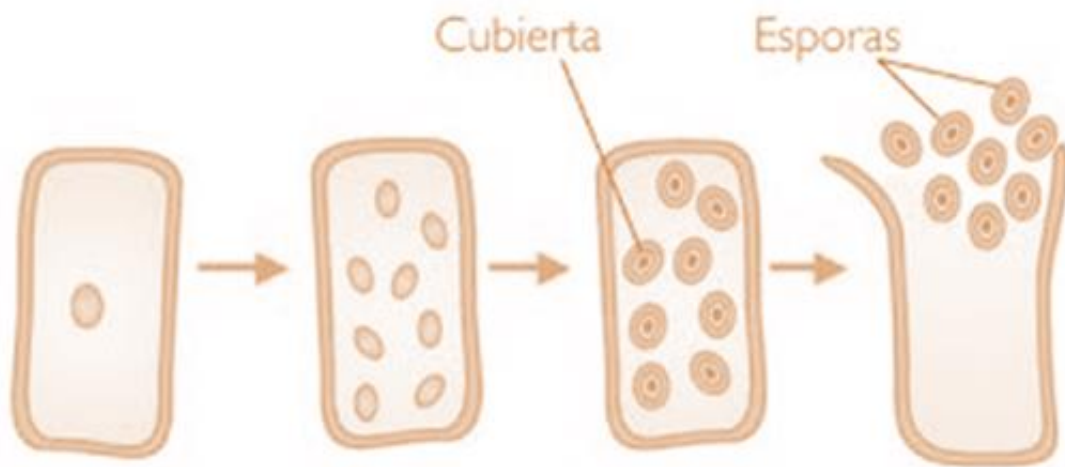
La pluripartición es un tipo de división celular en la que una célula madre se divide en múltiples células hijas simultáneamente. Este proceso es común en algunos organismos unicelulares, como ciertos protozoos y algas. A diferencia de la mitosis y la meiosis, la pluripartición no implica la formación de una célula hija única en cada división, sino que produce varias células hijas en una sola ronda de división (Nadler, 2007).



Fuente: Elaboracion propia.

Esporulación

La esporulación es un proceso mediante el cual una célula madre produce esporas, que son células reproductivas altamente resistentes. Este tipo de división celular es común en bacterias, hongos y algunas algas. Durante la esporulación, la célula madre pasa por una serie de cambios morfológicos y fisiológicos para formar esporas que pueden sobrevivir en condiciones adversas y germinar en nuevas células cuando las condiciones son favorables (Rothschild & Mancinelli, 2001).



Fuente: Elaboracion propia.

Gemación

La gemación es un proceso de división celular en el que una nueva célula se desarrolla a partir de una protuberancia o brote en la célula madre. Este tipo de reproducción es común en algunos organismos unicelulares y multicelulares, como las levaduras y ciertos animales invertebrados. La gemación permite a los organismos reproducirse asexualmente y formar nuevos individuos sin la necesidad de fusionarse con una célula sexual (Hickman et al., 2008).



Fuente: Elaboración propia.

Mitosis

La mitosis es un proceso de división celular en células eucariotas que resulta en la formación de dos células hijas genéticamente idénticas a la célula madre. La mitosis es esencial para el crecimiento, la reparación y la reproducción asexual en organismos multicelulares. Este proceso se divide en varias etapas que incluyen la condensación de cromosomas, la formación del huso mitótico, la unión de los cromosomas a los microtúbulos del huso, la separación de las cromátidas hermanas y la formación de núcleos hijos (Alberts et al., 2015).

Procesos de la Mitosis

La mitosis se lleva a cabo a través de una serie de etapas cuidadosamente coordinadas que aseguran la distribución equitativa del material genético entre las células hijas. Estas etapas incluyen:

Condensación de Cromosomas

Durante la profase de la mitosis, los cromosomas se condensan y se hacen visibles bajo el microscopio óptico. La condensación de los cromosomas es un proceso crítico que permite que el ADN, que normalmente está en una forma de cromatina menos compacta, se compacte en estructuras densas que son manejables durante la división celular. Este proceso es facilitado por las histonas y otras proteínas asociadas que ayudan a organizar el ADN en unidades denominadas nucleosomas (Alberts et al., 2015).

Formación del Huso Mitótico

El huso mitótico es una estructura de microtúbulos que se forma durante la profase y la metafase de la mitosis. El huso mitótico se origina en los centriolos en células animales (o cuerpos de microtúbulos en células vegetales) y se extiende a través del citoplasma. Su función principal es organizar y separar los cromosomas durante la mitosis. Los microtúbulos del huso se unen a los cromosomas en sus centrómeros y guían su movimiento hacia los polos opuestos de la célula (Alberts et al., 2015).

Unión de los Cromosomas a los Microtúbulos del Huso

Durante la metafase, los cromosomas se alinean en el plano ecuatorial de la célula, conocido como la placa metafásica. Los microtúbulos del huso mitótico se unen a los cromosomas a través de los cinetocoros, estructuras especializadas ubicadas en el centrómero de cada cromosoma. La unión precisa de los cromosomas a los microtúbulos es crucial para la separación equitativa de las cromátidas hermanas (Alberts et al., 2015).

Separación y Migración de las Cromátidas Hermanas a Polos Opuestos del Huso

Durante la anafase, las cromátidas hermanas se separan en respuesta a la contracción de los microtúbulos del huso. Los microtúbulos se acortan, tirando de las cromátidas hermanas hacia los polos opuestos de la célula. Esta separación garantiza que cada célula hija recibirá una copia completa de cada cromosoma, preservando la integridad del material genético (Alberts et al., 2015).

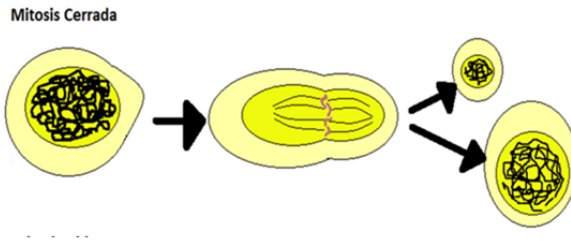
Formación de Núcleos Hijos

Finalmente, en la telofase, se forman los núcleos hijos en cada uno de los polos opuestos de la célula. El ADN se descondensa para formar cromatina, y las membranas nucleares se reorganizan alrededor de los conjuntos de cromosomas en cada polo. Este proceso es seguido por la citocinesis, que divide el citoplasma y los orgánulos de la célula madre entre las dos células hijas (Alberts et al., 2015).

Tipos de Mitosis: Mitosis Cerrada y Mitosis Abierta

Los tipos de mitosis se distinguen por la forma en que ocurre la división del núcleo y la separación de los cromosomas. Los dos tipos principales son la mitosis cerrada y la mitosis abierta.

Mitosis Cerrada

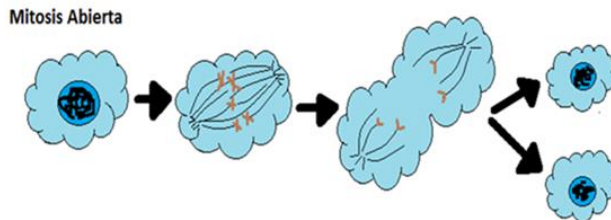


Fuente: Miller & Spector, 2010

La mitosis cerrada es un tipo de mitosis en la que el núcleo de la célula no se desintegra completamente durante la división. En lugar de formar dos núcleos hijos separados, la mitosis

cerrada mantiene una estructura nuclear continua a lo largo de la mitosis, aunque la cromatina se condensa y los cromosomas se organizan en el núcleo. Este tipo de mitosis es común en ciertos protistas y hongos (Miller & Spector, 2010).

Mitosis Abierta



Fuente: Miller & Spector, 2010

La mitosis abierta es el tipo de mitosis que ocurre en la mayoría de las células eucariotas, incluyendo células animales y vegetales. En la mitosis abierta, la envoltura nuclear se desintegra

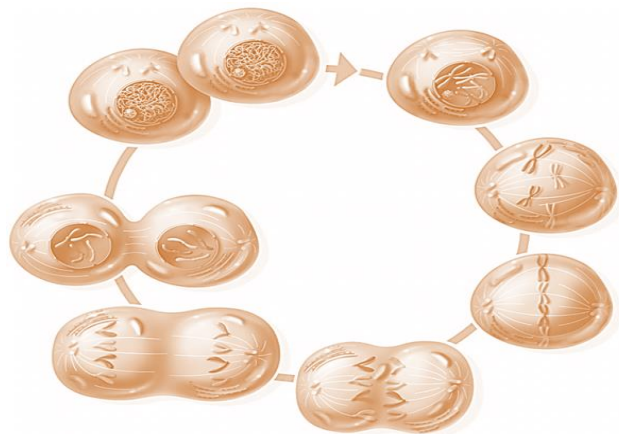
durante la profase, permitiendo que los cromosomas se distribuyan libremente en el citoplasma. Después de la separación de las cromátidas hermanas, se forman dos nuevas envolturas nucleares alrededor de los conjuntos de cromosomas en los polos opuestos de la célula, y el núcleo se reorganiza (Alberts et al., 2015).

La división celular es un proceso fundamental que asegura la reproducción precisa y la distribución equitativa del material genético. La comprensión de los diferentes tipos de división celular, así como los procesos específicos involucrados en la mitosis, proporciona una visión integral de la biología celular y molecular. La regulación precisa de la división celular es esencial para el

desarrollo y el mantenimiento de los organismos multicelulares, y cualquier disfunción en estos procesos puede llevar a enfermedades graves como el cáncer.

Fases de la mitosis

La mitosis es un proceso fundamental en la biología celular que permite la división de una célula madre en dos células hijas genéticamente idénticas. Este proceso se divide en varias fases clave: profase, prometafase, metafase, anafase y telofase, cada una de las cuales desempeña un papel crucial en la correcta distribución del material genético. La mitosis asegura la continuidad de la información genética a lo largo de las generaciones celulares, siendo esencial para el crecimiento, la reparación de tejidos y la reproducción asexual en organismos unicelulares (Alberts et al., 2014).



Fuente: Elaboración propia.

Profase



Fuente: Lodish et al., 2000

La profase es la primera fase de la mitosis y se caracteriza por la condensación de la cromatina en cromosomas visibles al microscopio óptico. Durante esta etapa, los cromosomas, que consisten en dos cromátidas hermanas unidas por un centromero, se vuelven cada vez más compactos y comienzan a ser manipulados

por el huso mitótico. El nucleolo, una estructura dentro del núcleo encargada de la síntesis de ribosomas, se desintegra, lo que marca el inicio de la reorganización nuclear (Lodish et al., 2000).

El proceso de condensación cromosómica es facilitado por proteínas especializadas, como las condensinas, que organizan el ADN en estructuras altamente compactas. Esto es crucial para evitar enredos durante la segregación de cromosomas y para asegurar que cada célula hija reciba una copia completa del genoma (Swedlow & Hirano, 2003). Además, los centriolos, que son organelos que organizan el huso mitótico, se duplican durante la interfase y migran a los polos opuestos de la célula, preparando el terreno para la alineación de los cromosomas.

Durante la mitosis, los cromosomas se vuelven las estructuras clave para la distribución del material genético. Cada cromosoma está compuesto por varias partes fundamentales, que incluyen las cromátidas, el centromero, los cinetócoros y los telómeros.

Las cromátidas son las dos copias idénticas de ADN que componen un cromosoma duplicado. Están unidas entre sí por el centromero, una región especializada del cromosoma que juega un papel crucial en la correcta segregación cromosómica. El centromero es el sitio de ensamblaje del cinetócoro, un complejo proteico que se une a los microtúbulos del huso mitótico y facilita el movimiento de los cromosomas hacia los polos opuestos de la célula durante la mitosis (Klug et al., 2010).

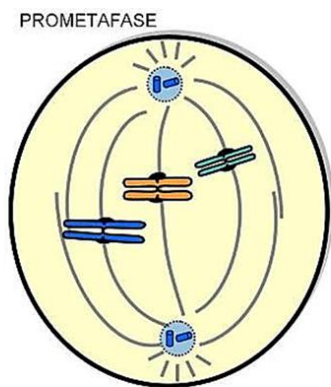
Los telómeros son las regiones terminales de los cromosomas, que contienen secuencias repetitivas de ADN y protegen los extremos del cromosoma de la degradación y de la fusión con otros cromosomas. Durante cada ciclo de replicación celular, los telómeros se acortan, lo que está asociado con el envejecimiento celular y la senescencia (Greider & Blackburn, 1985).

La condensación de los cromosomas es un proceso crítico que ocurre principalmente durante la profase. La cromatina, que es la forma menos compacta del ADN en el núcleo, se reorganiza en estructuras altamente compactas conocidas como cromosomas. Este proceso es mediado por un

conjunto de proteínas estructurales, incluyendo las histonas y las condensinas, que ayudan a enrollar el ADN en formas más compactas, evitando daños o enredos durante la división celular (Swedlow & Hirano, 2003).

La condensación de los cromosomas es esencial para asegurar que los cromosomas se puedan separar correctamente durante la mitosis. Sin una condensación adecuada, los cromosomas podrían sufrir rupturas o segregarse incorrectamente, lo que resultaría en células hijas con cantidades anómalas de material genético.

Prometafase



Fuente: Walczak & Heald, 2008

La prometafase es una fase transicional en la mitosis, que sigue a la profase y precede a la metafase. Durante la prometafase, la envoltura nuclear que rodea al núcleo se fragmenta, permitiendo que los microtúbulos del huso mitótico accedan a los cromosomas. Esto es crucial porque permite que los microtúbulos se unan a los cinetocoros, situados en los centromeros de los cromosomas (Walczak & Heald, 2008).

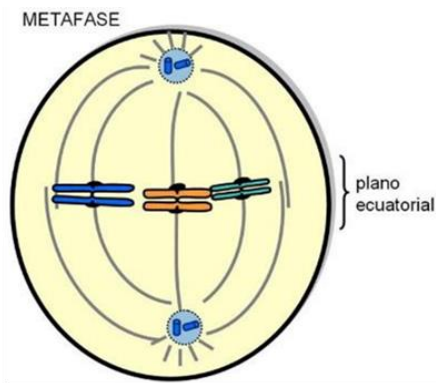
El proceso de unión de los microtúbulos a los cinetocoros es dinámico, con los microtúbulos que se alargan y acortan hasta que logran capturar a todos los cromosomas. Una vez que todos los cromosomas están capturados, comienza la formación de la placa metafásica, una alineación de cromosomas en el centro de la célula, que es necesaria para la correcta segregación cromosómica.

El aparato mitótico, también conocido como huso mitótico, es una estructura compuesta principalmente por microtúbulos que se encarga de la separación de las cromátidas hermanas durante la mitosis. Este aparato se forma a partir de los centrosomas, que se duplican durante la interfase y se mueven a los polos opuestos de la célula durante la profase (Mitchison & Salmon, 2001).

El huso mitótico se extiende desde los centrosomas y se une a los cinetocoros de los cromosomas. Además de los microtúbulos cinetocóricos, que se unen

directamente a los cromosomas, existen microtúbulos astrales y polares que estabilizan la estructura del huso y ayudan en la separación de los polos celulares. La correcta función del aparato mitótico es esencial para asegurar que cada célula hija reciba un número igual de cromosomas.

Metafase

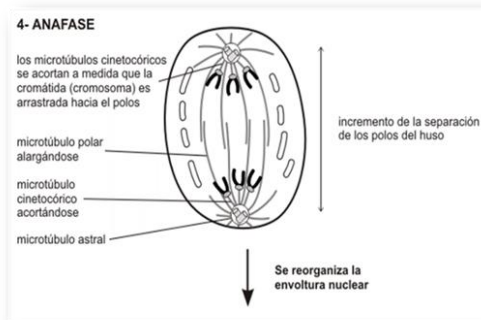


Fuente: Walczak & Heald, 2008

Durante la metafase, los cromosomas alcanzan su máxima condensación y se alinean en el ecuador de la célula, formando la placa metafásica. Esta alineación es crucial para asegurar que cada cromátida hermana se distribuya equitativamente a las células hijas (Rieder & Khodjakov, 2003).

La posición de los cromosomas en la placa metafásica es el resultado de un delicado equilibrio entre las fuerzas de tracción ejercidas por los microtúbulos del huso mitótico. En esta fase, la célula lleva a cabo un punto de control importante llamado punto de control de la metafase, que asegura que todos los cromosomas estén correctamente unidos a los microtúbulos antes de proceder a la anafase. Este punto de control es crucial para prevenir errores en la segregación cromosómica, que podrían dar lugar a aneuploidía, una condición en la que las células tienen un número incorrecto de cromosomas (Musacchio & Salmon, 2007).

Anafase



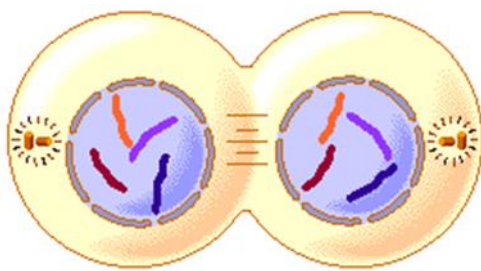
Fuente: Nasmyth & Haering, 2009

La anafase es la fase de la mitosis en la que las cromátidas hermanas se separan y son arrastradas hacia los polos opuestos de la célula. Este proceso es mediado por la separación de las cohesinas, que son las proteínas que mantienen unidas a las cromátidas

hermanas durante la mitosis (Nasmyth & Haering, 2009).

Durante la anafase A, los microtúbulos cinetocóricos se acortan, arrastrando a las cromátidas hermanas hacia los polos de la célula. En la anafase B, los polos de la célula se separan aún más, debido a la elongación de los microtúbulos polares, lo que ayuda a asegurar que las cromátidas se distribuyan equitativamente en las células hijas.

Telofase



Telofase

Los cromosomas están en los polos y son más difusos. La membrana nuclear se vuelve a formar. El citoplasma se divide

La telofase es la última fase de la mitosis, donde los cromosomas llegan a los polos opuestos de la célula y comienzan a descondensarse.

Fuente: Pines & Rieder, 2001

Durante esta fase, se forma una nueva envoltura nuclear alrededor de cada conjunto de cromosomas, lo que da lugar a la formación de dos núcleos hijos. Este proceso marca el final de la mitosis, aunque la división celular aún no está completa (Pines & Rieder, 2001).

Además, durante la telofase, los nucleolos reaparecen dentro de los nuevos núcleos, lo que indica la reanudación de la síntesis ribosómica. La célula está ahora lista para llevar a cabo la citocinesis, el proceso final en la división celular, donde el citoplasma se divide para formar dos células hijas separadas.

Después de la mitosis, la célula entra en la interfase, una fase del ciclo celular en la que la célula crece, replica su ADN y se prepara para la próxima división. Durante esta fase, el núcleo se reorganiza para reanudar sus funciones normales. Los cromosomas se descondensan y vuelven a formar la cromatina, una estructura más laxa que permite la transcripción del ADN y la síntesis de ARN (Dimitrov, 2001).

La envoltura nuclear, que se desintegró durante la mitosis, se reconstituye completamente, y los componentes nucleares, como los nucleolos, se

reensamblan. La reorganización del núcleo durante la interfase es crucial para la restauración de las funciones celulares normales y para la preparación del núcleo para el siguiente ciclo celular.

Citocinesis

La citocinesis es el proceso final del ciclo celular, donde el citoplasma de una célula se divide en dos células hijas. Este proceso sigue a la mitosis o meiosis y es crucial para la generación de células con contenido genético y citoplasmático equivalente. A diferencia de la mitosis, que se enfoca en la distribución equitativa del material genético, la citocinesis garantiza que el citoplasma y los organelos se distribuyan de manera que cada célula hija sea funcional y viable (Pollard, 2010).

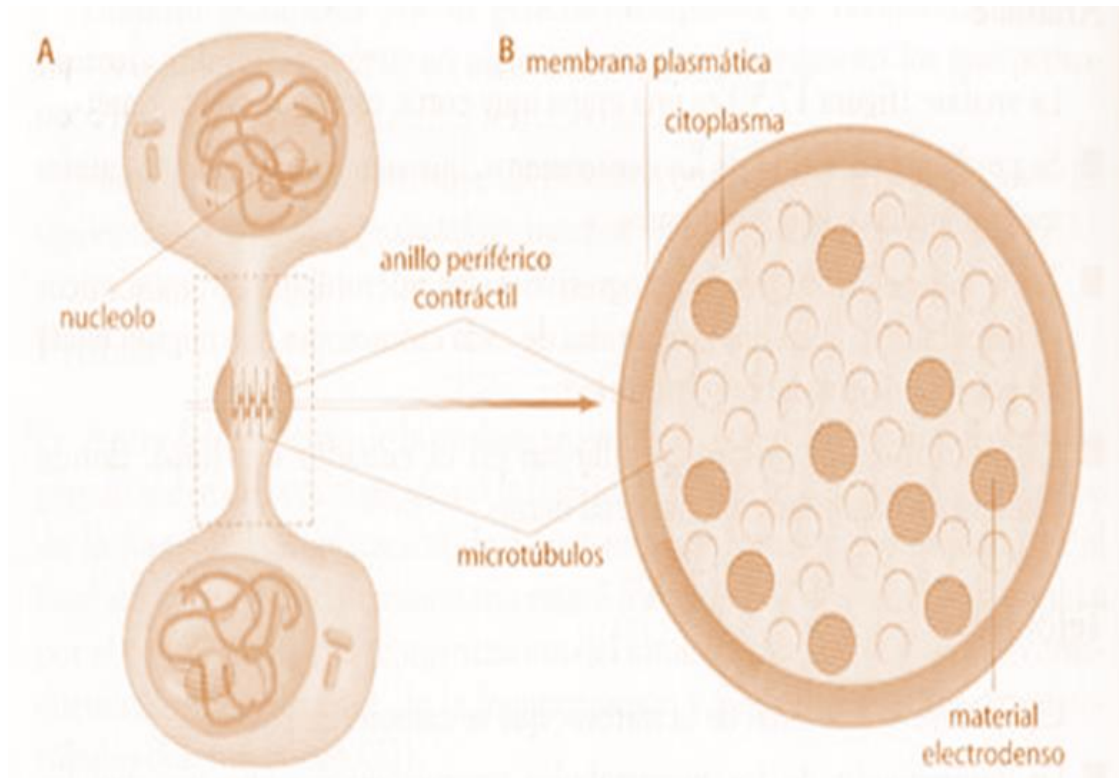
La citocinesis se inicia al final de la telofase y marca el paso final de la división celular. En células animales, la citocinesis se caracteriza por la formación de un anillo contráctil compuesto por filamentos de actina y miosina que se constriñen para separar el citoplasma en dos compartimentos. Este proceso es altamente regulado y depende de señales moleculares que aseguran la correcta ubicación y el momento de la división (Normand & King, 2010).

En las células vegetales, la citocinesis es diferente debido a la presencia de una pared celular rígida. En lugar de un anillo contráctil, las células vegetales forman una estructura llamada fragmoplasto, que guía la formación de una nueva pared celular en el centro de la célula en división. Este proceso culmina en la formación de una nueva membrana plasmática que separa las dos células hijas, seguida de la deposición de una pared celular entre ellas (Jürgens, 2005).

La citocinesis en las Células animales y Células vegetales

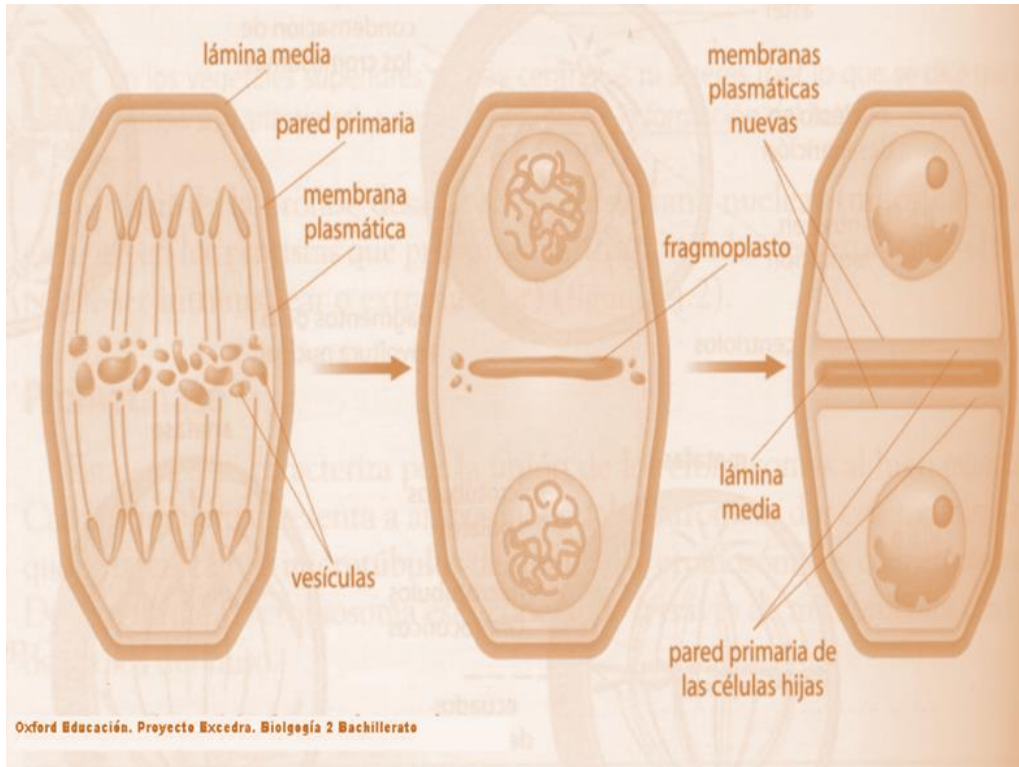
La citocinesis en células animales y vegetales se diferencia fundamentalmente debido a las distintas estructuras y composiciones de sus células. En células animales, la flexibilidad de la membrana plasmática permite la formación del surco de escisión, un proceso que se basa en la actividad del anillo contráctil. Este anillo se compone principalmente de actina y miosina, proteínas que también participan en la contracción muscular. A medida que el anillo se contrae,

tira de la membrana plasmática hacia el centro de la célula, dividiendo el citoplasma en dos partes aproximadamente iguales (Schroeder, 1972).



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la citocinesis en células vegetales involucra la formación del fragmoplasto, una estructura derivada del citoesqueleto que ayuda en la construcción de la nueva pared celular entre las células hijas. Los microtúbulos y las vesículas derivadas del aparato de Golgi transportan los materiales necesarios para la construcción de esta nueva pared. Esta diferencia estructural refleja las adaptaciones evolutivas de las células vegetales para mantener su integridad estructural frente a la rigidez de la pared celular (Verma, 2001).



Fuente: Elaboración propia

Meiosis

La meiosis es un proceso de división celular que reduce el número de cromosomas a la mitad, produciendo células haploides a partir de una célula diploide. Este proceso es esencial para la reproducción sexual y contribuye a la variabilidad genética a través de mecanismos como el entrecruzamiento y la segregación independiente de los cromosomas. La meiosis se divide en dos divisiones consecutivas: meiosis I y meiosis II, cada una con sus fases específicas (Zickler & Kleckner, 2015).

Mecanismos de la meiosis (División I y División II)

La meiosis se distingue de la mitosis en que incluye dos divisiones celulares secuenciales sin una fase de replicación del ADN entre ellas. La meiosis I es la primera división reduccional, donde los cromosomas homólogos se separan, reduciendo el número de cromosomas a la mitad. La meiosis II es similar a una mitosis regular, donde las cromátidas hermanas se separan, pero sin un paso adicional de replicación del ADN, lo que resulta en células haploides (Petronczki et al., 2003).

División meiotica I: Profase I (Leptoteno, Zigoteno, Paquiteno, Diploteno, Diacinesis), Prometafase I, Metafase I, Anafase I, Telofase I

La profase I es una de las fases más complejas y largas de la meiosis. Se subdivide en cinco etapas: leptoteno, zigoteno, paquiteno, diploteno y diacinesis, cada una con eventos específicos que preparan a la célula para la recombinación genética y la segregación cromosómica.

Durante el leptoteno, los cromosomas comienzan a condensarse y hacerse visibles bajo el microscopio, apareciendo como largas hebras delgadas. En esta etapa, los cromosomas homólogos, que son cromosomas pareados que tienen la misma disposición de genes, comienzan a aproximarse (Baudat et al., 2013).

El zigoteno es caracterizado por el apareamiento de los cromosomas homólogos a lo largo de toda su longitud, un proceso conocido como sinapsis. Esta sinapsis es facilitada por la formación del complejo sinaptonémico, una estructura proteica que mantiene unidos a los cromosomas homólogos (Zickler & Kleckner, 1999).

En el paquiteno, se produce el entrecruzamiento, un proceso donde se intercambian fragmentos de material genético entre las cromátidas no hermanas de los cromosomas homólogos. Este intercambio es crucial para la recombinación genética, que incrementa la diversidad genética en las gametas resultantes (Hunter, 2015).

El diploteno es la etapa donde los cromosomas homólogos comienzan a separarse, aunque permanecen conectados en puntos específicos llamados quiasmas, donde se ha producido el entrecruzamiento. Los quiasmas son visibles bajo el microscopio y marcan los puntos donde ha ocurrido el intercambio genético (Martínez-Pérez & Colaiácovo, 2009).

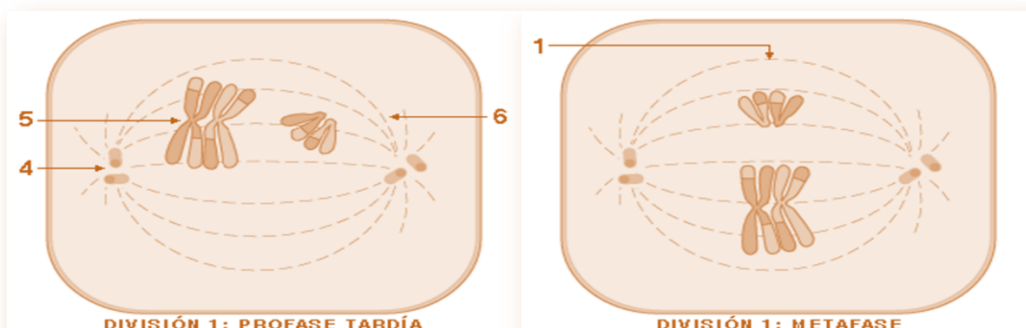
Durante la diacinesis, los cromosomas se condensan aún más, los quiasmas se mueven hacia los extremos de los cromosomas, y el complejo sinaptonémico se desintegra, preparando a los cromosomas para la alineación en la metafase I (Petronczki et al., 2003).

En la prometafase I, la envoltura nuclear se disuelve, permitiendo que los microtúbulos del huso mitótico se unan a los cinetocoros de los cromosomas homólogos. A diferencia de la mitosis, en la prometafase I de la meiosis, los cromosomas homólogos, en lugar de las cromátidas hermanas, son los que se alinean para su separación (Page & Hawley, 2003).

Durante la metafase I, los pares de cromosomas homólogos se alinean en el ecuador de la célula. Este alineamiento es crucial para la distribución equitativa de los cromosomas en las células hijas. La orientación aleatoria de los pares homólogos en la metafase I contribuye a la variabilidad genética, ya que la segregación de un par homólogo no afecta a la de otro (Petronczki et al., 2003).

En la anafase I, los cromosomas homólogos son separados y arrastrados hacia los polos opuestos de la célula por los microtúbulos del huso mitótico. A diferencia de la mitosis, donde se separan las cromátidas hermanas, en la anafase I de la meiosis se separan los cromosomas homólogos. Esto reduce el número de cromosomas a la mitad, preparándolos para la segunda división meiotica (Petronczki et al., 2003).

La telofase I es la fase final de la primera división meiotica, donde los cromosomas llegan a los polos opuestos y la célula comienza a dividirse. A menudo, la telofase I es seguida directamente por la citocinesis, que divide el citoplasma, formando dos células hijas haploides, cada una con la mitad del número de cromosomas originales, pero con cromosomas duplicados (Baudat et al., 2013).



Fuente: Elaboración propia

División meiotica II: Interfase II, Profase II, Metafase II, Anafase II, Telofase II, Citocinesis

Después de la meiosis I, la célula entra en una breve interfase II, que es muy diferente de la interfase que precede a la meiosis I. En la interfase II, no hay replicación del ADN, ya que la célula se prepara directamente para la segunda división meiotica, que se asemeja más a una división mitótica estándar (Baudat et al., 2013).

La profase II es similar a la profase de la mitosis. Los cromosomas, que aún consisten en dos cromátidas hermanas, se condensan y se preparan para la segunda ronda de división. Durante esta fase, los microtúbulos del huso mitótico comienzan a formarse y la envoltura nuclear se desintegra nuevamente (Page & Hawley, 2003).

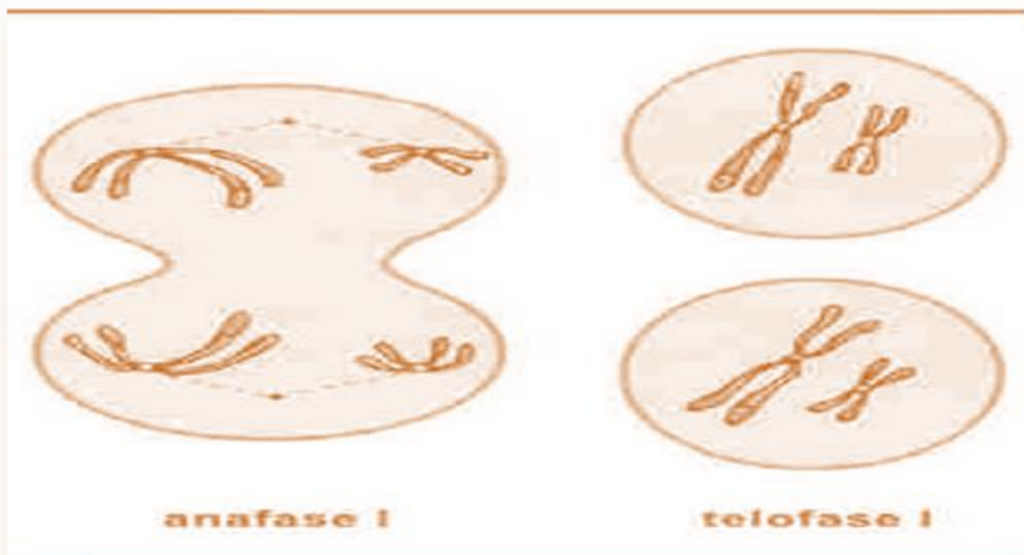
En la metafase II, los cromosomas se alinean en el ecuador de la célula, con las cromátidas hermanas unidas por sus centrómeros. A diferencia de la metafase I, en la metafase II las cromátidas hermanas se separarán, lo que da lugar a células hijas genéticamente diferentes (Hunter, 2015).

Durante la anafase II, las cromátidas hermanas son finalmente separadas y arrastradas hacia polos opuestos de la célula. Este paso es crucial para asegurar que cada célula hija reciba un número exacto de cromosomas, garantizando así la estabilidad genética (Page & Hawley, 2003).

En la telofase II, los cromosomas llegan a los polos opuestos de la célula y se reorganiza la envoltura nuclear alrededor de cada conjunto de cromosomas. La citocinesis sigue a la telofase II, dividiendo el citoplasma de cada célula en dos, lo que resulta en un total de cuatro células haploides, cada una con un conjunto único de cromosomas (Zickler & Kleckner, 2015).

La citocinesis y la meiosis son procesos fundamentales en la biología celular, cruciales para la división celular, la reproducción sexual y la variabilidad genética. La citocinesis asegura la correcta distribución del citoplasma y organelos, mientras que la meiosis introduce diversidad genética esencial para la evolución.

Estos procesos, aunque distintos, están intrínsecamente conectados en la dinámica del ciclo celular.



Fuente: Elaboración propia

Diferencias entre la mitosis y la meiosis

La mitosis y la meiosis son dos tipos fundamentales de división celular que permiten a los organismos crecer, desarrollarse y reproducirse. A pesar de compartir algunas similitudes, estos procesos son distintos tanto a nivel genético, celular, como orgánico, y desempeñan roles únicos en la biología celular y reproductiva.

Nivel genético

Genéticamente, la mitosis y la meiosis difieren en el número de divisiones y en el resultado final en cuanto a la cantidad y variabilidad de la información genética. La mitosis es una división celular que produce dos células hijas idénticas con el mismo número de cromosomas que la célula madre, conservando la diploidía del organismo (Klug et al., 2010). Este proceso es esencial para el crecimiento, la reparación de tejidos y la regeneración celular. En la mitosis, no se produce recombinación genética, lo que asegura la estabilidad genética a lo largo de las generaciones celulares.

Por otro lado, la meiosis es un proceso más complejo que incluye dos divisiones celulares consecutivas (meiosis I y II) y resulta en cuatro células hijas, cada una con la mitad del número de cromosomas de la célula madre, lo que es fundamental para la reproducción sexual. Además, la meiosis introduce variabilidad genética a través del entrecruzamiento y la segregación independiente de los cromosomas homólogos durante la profase I y la metafase I, respectivamente. Este proceso es esencial para la evolución y la diversidad genética en las poblaciones (Zickler & Kleckner, 2015).

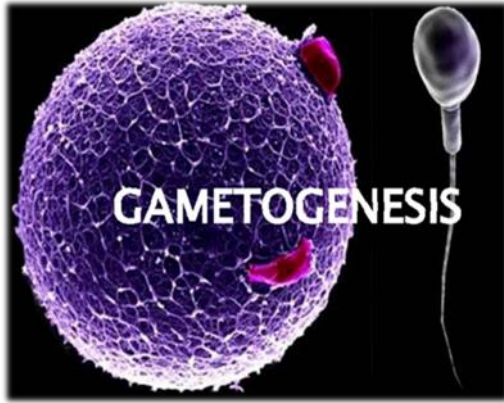
Nivel celular

A nivel celular, la mitosis se caracteriza por una única división celular que incluye las fases de profase, metafase, anafase y telofase, seguidas por la citocinesis. En contraste, la meiosis consta de dos divisiones consecutivas: la primera división (meiosis I) reduce el número de cromosomas a la mitad y la segunda (meiosis II) separa las cromátidas hermanas de cada cromosoma (Petronczki et al., 2003). Mientras que la mitosis resulta en la producción de células diploides genéticamente idénticas, la meiosis produce células haploides con combinaciones únicas de material genético.

Nivel orgánico

Orgánicamente, la mitosis está involucrada en procesos somáticos como el desarrollo y la reparación de tejidos en organismos multicelulares. Es crucial para mantener la integridad de los órganos y tejidos a lo largo de la vida del organismo (Alberts et al., 2014). En contraste, la meiosis está restringida a las células germinales en las gónadas, donde es responsable de la formación de gametos (óvulos y espermatozoides). Este proceso es esencial para la reproducción sexual, ya que asegura que los gametos tengan la mitad del número de cromosomas, lo que permite la restauración de la diploidía tras la fertilización (Hunter, 2015).

Gametogénesis



Fuente: Guraya, 2013

La gametogénesis es el proceso biológico mediante el cual se forman y desarrollan los gametos (óvulos y espermatozoides) a partir de las células germinales primordiales. Este proceso es fundamental para la reproducción sexual y asegura la transmisión de la información genética de una generación a otra (Guraya,

2013).

Gónadas

Las gónadas son los órganos encargados de la producción de gametos y hormonas sexuales. En los mamíferos, las gónadas masculinas son los testículos, que producen espermatozoides y testosterona, mientras que las gónadas femeninas son los ovarios, que producen óvulos y hormonas como los estrógenos y la progesterona (Alberts et al., 2014). Las gónadas desempeñan un papel crucial no solo en la gametogénesis, sino también en la regulación del desarrollo y mantenimiento de los caracteres sexuales secundarios.

Células Germinales

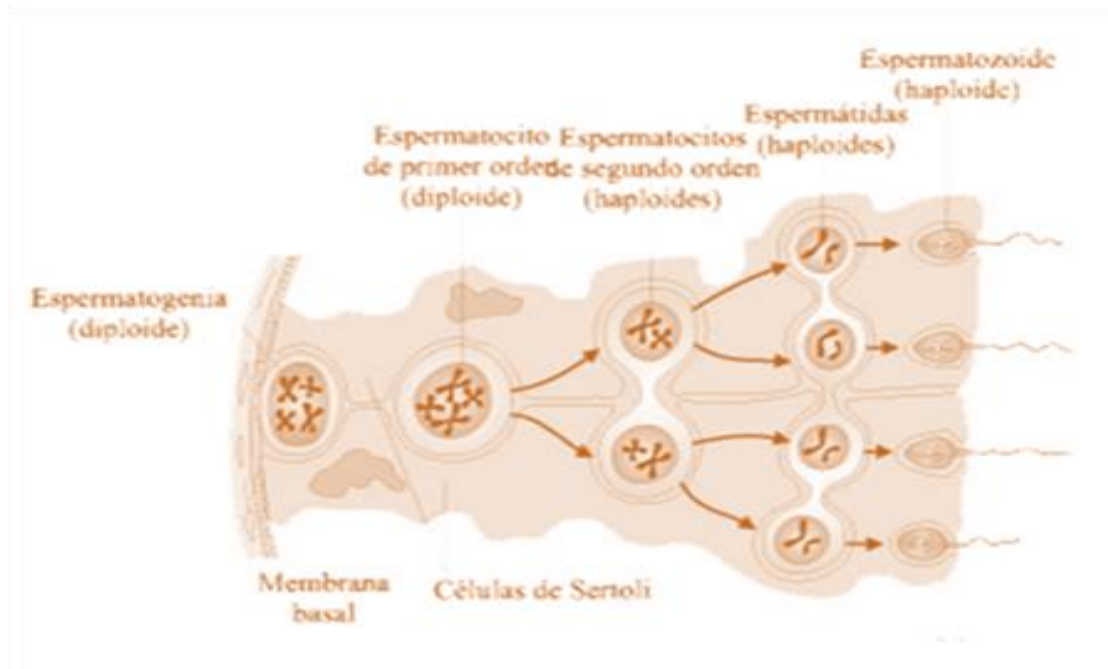
Las células germinales son las precursoras de los gametos y tienen la capacidad única de transmitir material genético a la descendencia. Estas células se originan en las etapas tempranas del desarrollo embrionario y migran a las gónadas en desarrollo, donde inician el proceso de gametogénesis (Extavour & Akam, 2003). Durante la meiosis, las células germinales experimentan una serie de divisiones y modificaciones que resultan en la formación de gametos haploides.

Espermatogénesis

La espermatogénesis es el proceso de formación de espermatozoides en los testículos de los machos. Este proceso es continuo y ocurre en los túbulos seminíferos a lo largo de la vida reproductiva del individuo. La espermatogénesis

comienza con la diferenciación de las células germinales primordiales en espermatogonias, que luego experimentan mitosis y meiosis para formar espermatozoides maduros (de Kretser et al., 1998).

Fases de la Espermatogénesis



Fuente: Elaboración propia.

La espermatogénesis se divide en varias fases:

Fase de proliferación: Las espermatogonias, que son diploides, experimentan mitosis para aumentar su número. Algunas de estas células entran en la fase de crecimiento y se convierten en espermatocitos primarios (Johnson et al., 2011).

Fase meiótica: Los espermatocitos primarios experimentan la meiosis I para formar espermatocitos secundarios haploides, que luego pasan por la meiosis II para formar espermátidas (Clermont, 1972). Durante este proceso, se produce la recombinación genética, lo que aumenta la variabilidad genética de los gametos.

Fase de diferenciación (espermioagénesis): Las espermátidas se diferencian en espermatozoides maduros a través de un proceso que incluye la condensación del núcleo, la formación del acrosoma, el desarrollo del flagelo y la eliminación

del citoplasma residual. Este proceso es esencial para la formación de espermatozoides funcionales capaces de fertilizar un óvulo (Hermo et al., 2010).

Ovogénesis

La ovogénesis es el proceso de formación de óvulos en los ovarios de las hembras. A diferencia de la espermatogénesis, que es continua, la ovogénesis es un proceso cíclico que comienza en la vida fetal y continúa hasta la menopausia. La ovogénesis incluye varias fases, desde la proliferación de las células germinales hasta la maduración del óvulo (Guraya, 2013).

En los humanos, la ovogénesis comienza en la etapa fetal, cuando las células germinales primordiales se diferencian en oogonias, que luego entran en la meiosis para convertirse en ovocitos primarios. Estos ovocitos permanecen en una fase de detención en la profase I hasta la pubertad, cuando, durante cada ciclo menstrual, uno o más ovocitos reanudan la meiosis y maduran en óvulos (Edson et al., 2009).

Fases de la Ovogénesis

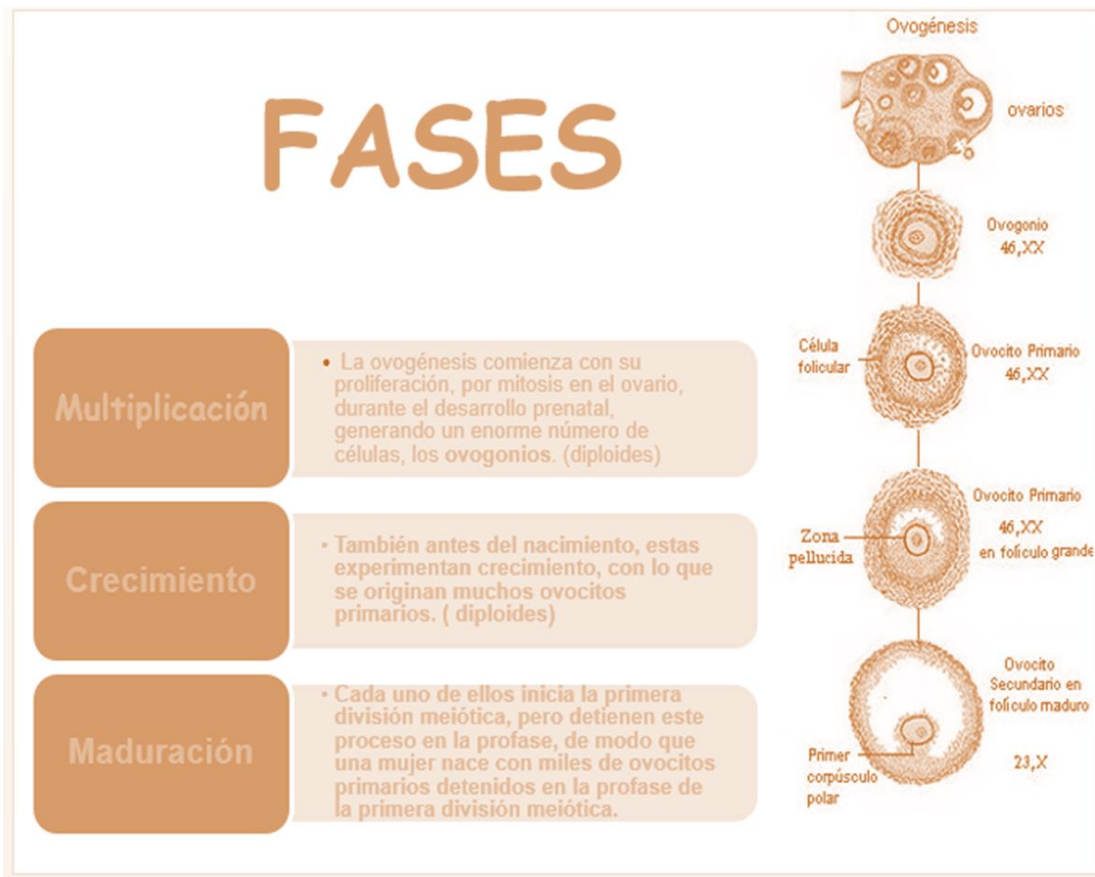
La ovogénesis se puede dividir en tres fases principales:

Fase de multiplicación: Durante la vida fetal, las oogonias experimentan mitosis para aumentar su número. Estas células luego entran en la meiosis y se convierten en ovocitos primarios, que se detienen en la profase I hasta la pubertad (Pepling, 2006).

Fase de crecimiento: A lo largo de la vida reproductiva, los ovocitos primarios crecen en tamaño y acumulan reservas de nutrientes, como lípidos y proteínas, que serán esenciales para el desarrollo temprano del embrión en caso de fertilización. Este crecimiento es apoyado por las células foliculares circundantes que forman parte del folículo ovárico (Guraya, 2013).

Fase de maduración: Durante cada ciclo menstrual, uno o más ovocitos primarios reanudan la meiosis y completan la meiosis I, formando un ovocito secundario y un cuerpo polar, que se detiene nuevamente en la metafase II hasta la fertilización. Si el ovocito secundario es fertilizado, completará la meiosis II y formará el óvulo definitivo y un segundo cuerpo polar (Edson et al., 2009).

La mitosis y la meiosis son procesos fundamentales que difieren en sus funciones y resultados, tanto a nivel genético, celular y orgánico. La gametogénesis, incluyendo la espermatogénesis y la ovogénesis, es esencial para la reproducción sexual y la perpetuación de las especies. Comprender las fases específicas y las diferencias entre estos procesos es crucial para entender la biología reproductiva y la genética en su totalidad.

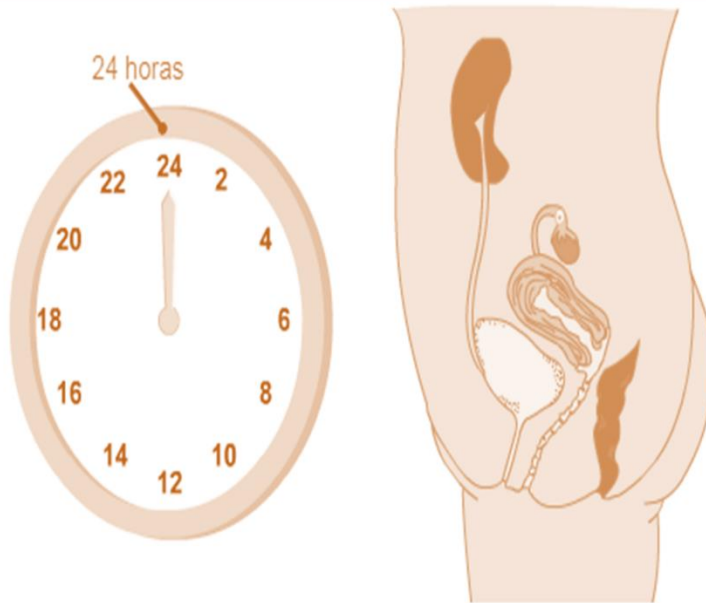


Fuente: Elaboración propia.

Fecundación Humana

La fecundación humana es un proceso fascinante y complejo que marca el inicio de una nueva vida. Desde el momento en que el espermatozoide y el óvulo se encuentran, se desencadenan una serie de eventos biológicos que culminan en la formación del cigoto, la primera célula del nuevo organismo. Este análisis explorará en profundidad las etapas de la fecundación, desde los días iniciales hasta la primera semana, incluyendo la implantación, la segmentación del óvulo

fecundado, y el proceso de fecundación en las trompas de Falopio, específicamente en la región ampular.



Un óvulo puede sobrevivir unas veinticuatro horas en las trompas de Falopio. Si el acto sexual se produce antes de la ovulación, la fecundación aún puede tener lugar ya que los espermatozoides pueden sobrevivir hasta tres días en el cuerpo de la mujer.

Fuente: Elaboración propia.

Cigoto

El cigoto es el resultado de la fusión del espermatozoide y el óvulo, y representa la primera célula del nuevo organismo humano. Este proceso, conocido como singamia, ocurre en la trompa de Falopio, generalmente en la región ampular. El cigoto contiene toda la información genética necesaria para el desarrollo del nuevo individuo, con un genoma diploide que resulta de la combinación del material genético de ambos progenitores (Gilbert, 2014). Este genoma inicial es crucial, ya que define las características hereditarias del organismo y comienza a dirigir las primeras etapas del desarrollo embrionario.

Etapas de la fecundación (Por semanas y días)

La fecundación es un proceso que se puede dividir en varias etapas, cada una de las cuales es crítica para el desarrollo exitoso del embrión. Estas etapas se pueden analizar detalladamente a lo largo de los primeros días y semanas del proceso.

Primera semana (Días del 1 al 7)

La primera semana tras la fecundación es un periodo de rápidos cambios y desarrollo celular. En el primer día, el cigoto comienza a experimentar divisiones celulares mitóticas, un proceso conocido como segmentación. Estas divisiones no aumentan el tamaño del cigoto, sino que lo dividen en células más pequeñas llamadas blastómeros (Sadler & Langman, 2015). A medida que los días avanzan, estas divisiones continúan, formando una estructura llamada mórula, que eventualmente se convertirá en un blastocisto hacia el día 5.

Durante los primeros días, el cigoto viaja a través de la trompa de Falopio hacia el útero. Este viaje es facilitado por el movimiento ciliar del epitelio de la trompa de Falopio y las contracciones musculares suaves (Sadler & Langman, 2015). El desarrollo continuo del cigoto es esencial para asegurar que esté preparado para la implantación en el endometrio, que comienza alrededor del día 6 o 7.

Implantación o concepción

La implantación es el proceso por el cual el blastocisto se adhiere y se incrusta en el revestimiento endometrial del útero. Este evento es crucial para la continuación del embarazo, ya que permite que el embrión reciba nutrientes y oxígeno de la madre. La implantación comienza aproximadamente en el sexto o séptimo día después de la fecundación, cuando el blastocisto se acerca al endometrio (Knobil & Neill, 2006). Las células del trofoblasto, que forman la capa externa del blastocisto, comienzan a secretar enzimas que degradan la superficie endometrial, permitiendo que el blastocisto se adhiera firmemente y se incruste en el tejido uterino.

Este proceso es asistido por la diferenciación del trofoblasto en dos capas: el citotrofoblasto y el sincitiotrofoblasto. El sincitiotrofoblasto penetra más profundamente en el endometrio y forma una conexión estable con los vasos sanguíneos maternos, lo que establece la base para la formación de la placenta (Knobil & Neill, 2006).

Segmentación de un óvulo fecundado

La segmentación es una serie de divisiones mitóticas que el cigoto experimenta después de la fecundación. Este proceso es crucial porque transforma el cigoto unicelular en una estructura multicelular llamada mórula, que luego se desarrollará en un blastocisto (Sadler & Langman, 2015). A diferencia de otras divisiones celulares, la segmentación no aumenta el tamaño total del embrión; en cambio, divide el citoplasma existente en un número creciente de células más pequeñas.

Durante la segmentación, los blastómeros se reorganizan para formar una cavidad interna, lo que da lugar a la formación del blastocisto. Este blastocisto consiste en una capa externa de células, el trofoblasto, y una masa interna de células, que eventualmente dará lugar al embrión (Sadler & Langman, 2015). Esta reorganización es fundamental para la implantación y el desarrollo posterior del embrión.

Fecundación en las trompas de Falopio en la región ampular o ampolla

La fecundación en los seres humanos generalmente ocurre en la trompa de Falopio, específicamente en la región ampular, que es la parte más ancha de la trompa. Esta ubicación es ideal porque proporciona un ambiente adecuado para que el espermatozoide se encuentre con el óvulo y para que ocurra la fertilización (Harper, 2004).

La región ampular es rica en nutrientes y secreciones que facilitan la capacitación del espermatozoide, un proceso que le permite adquirir la capacidad de fertilizar el óvulo. Durante este proceso, los cambios en la membrana del espermatozoide lo preparan para la fusión con el óvulo (Yanagimachi, 1994). Además, las contracciones musculares suaves de la trompa de Falopio ayudan a transportar tanto el espermatozoide como el óvulo al sitio de la fecundación.

Una vez que el espermatozoide ha penetrado el óvulo, se desencadena una serie de reacciones que previenen la entrada de otros espermatozoides, un proceso conocido como reacción de zona (Harper, 2004). Este mecanismo es crucial para asegurar que el óvulo sea fertilizado por un solo espermatozoide, lo que garantiza la viabilidad del cigoto.

La fecundación humana es un proceso complejo y meticuloso que involucra una serie de etapas críticas desde el encuentro inicial entre el espermatozoide y el óvulo hasta la implantación del blastocisto en el útero. Cada etapa del proceso, desde la formación del cigoto hasta la segmentación y la implantación, es esencial para el desarrollo exitoso del embrión. La fecundación que ocurre en la región ampular de las trompas de Falopio resalta la importancia de este entorno específico para el inicio de la vida humana.

Segunda Semana del Desarrollo Embrionario

La segunda semana del desarrollo embrionario, que abarca los días 8 y 9 post-fecundación, es un periodo crítico en la formación y establecimiento del embrión dentro del útero. Durante esta semana, la implantación del blastocisto se completa y se producen importantes diferenciaciones en el trofoblasto y el embrioblasto, que son fundamentales para el desarrollo exitoso del embrión y su interacción con el entorno materno. Este análisis explorará en detalle los eventos que ocurren durante estos días, incluyendo la implantación completa, la diferenciación del trofoblasto en citotrofoblasto y sincitiotrofoblasto, la formación de estructuras clave como la cavidad amniótica y el saco vitelino primitivo, y otros procesos relacionados.

Día 8: Implantación Completa

El día 8 es significativo porque marca la finalización del proceso de implantación, en el cual el blastocisto se incrusta completamente en el endometrio uterino. Este proceso es esencial para el éxito del embarazo, ya que establece la conexión inicial entre el embrión y la madre, permitiendo el intercambio de nutrientes y la eliminación de desechos (Sadler & Langman, 2015). A medida que el blastocisto se adentra en el endometrio, el trofoblasto, la capa externa de células del blastocisto, se diferencia en dos capas: el citotrofoblasto y el sincitiotrofoblasto.

Trofoblasto: Citotrofoblasto y Sincitiotrofoblasto

El trofoblasto desempeña un papel crucial en la implantación y en la formación de la placenta. Durante el día 8, el trofoblasto se diferencia en dos capas distintas:

Citotrofoblasto: Esta es la capa interna del trofoblasto, formada por células mononucleares que mantienen su capacidad de división mitótica. Estas células son responsables de proliferar y formar nuevas células del sincitiotrofoblasto, contribuyendo así al crecimiento y expansión del trofoblasto en el endometrio (Knobil & Neill, 2006).

Sincitiotrofoblasto: Esta capa externa es multinucleada y no mitóticamente activa. Se forma por la fusión de células del citotrofoblasto. El sincitiotrofoblasto es responsable de la invasión del endometrio y de la secreción de hormonas, como la gonadotropina coriónica humana (hCG), que es crucial para el mantenimiento del embarazo temprano (Knobil & Neill, 2006). Además, comienza a desarrollar vacuolas que posteriormente se fusionarán para formar lagunas, iniciando la fase lacunar del desarrollo trofoblástico.

Embrioblasto: Epiblasto y Hipoblasto

El embrioblasto, la masa celular interna del blastocisto, también se diferencia en dos capas durante el día 8: el epiblasto y el hipoblasto. Estas dos capas darán lugar a todas las estructuras del embrión y las membranas extraembrionarias.

Epiblasto: El epiblasto es la capa superior y se organiza en una estructura columnar. De esta capa derivará la cavidad amniótica, que se forma cuando se acumula líquido entre las células del epiblasto y el trofoblasto adyacente. Las células que forman el techo de la cavidad amniótica se conocen como amnioblastos, y junto con el epiblasto, constituyen las primeras células del futuro embrión (Sadler & Langman, 2015).

Hipoblasto: El hipoblasto es la capa inferior del embrioblasto y está formado por células cúbicas. Esta capa contribuye a la formación del saco vitelino primitivo y desempeña un papel clave en la determinación de los ejes corporales del embrión (Sadler & Langman, 2015).

Día 9: Blastocito Inmerso

El día 9 se caracteriza por la completa inmersión del blastocisto en el endometrio uterino. A medida que el sincitiotrofoblasto continúa invadiendo el tejido materno, la superficie del blastocisto que aún no está cubierta por el sincitiotrofoblasto se

sella con un coágulo de fibrina. Este coágulo actúa como un tapón temporal en el punto de implantación, protegiendo al embrión en desarrollo y asegurando su entorno (Sadler & Langman, 2015).

Coágulo de Fibrina

El coágulo de fibrina se forma como resultado de la coagulación del plasma sanguíneo materno en el sitio donde el blastocisto se ha incrustado. Este coágulo no solo actúa como una barrera física que protege al embrión, sino que también contribuye a la cicatrización del endometrio en el lugar de la implantación (Knobil & Neill, 2006). A medida que avanza el embarazo, este coágulo será reemplazado por tejido trofoblástico en desarrollo, integrándose más profundamente con la circulación materna.

Sincitiotrofoblasto: Vacuolas y Fase Lacunar

Durante el día 9, el sincitiotrofoblasto comienza a mostrar la formación de vacuolas, que son pequeñas cavidades dentro de su estructura. Estas vacuolas eventualmente se fusionan para formar lagunas más grandes, un proceso que da inicio a la fase lacunar del desarrollo trofoblástico. Las lagunas son cruciales porque permiten la formación de espacios intervelllosos que más adelante contendrán sangre materna, estableciendo el primer contacto directo entre la sangre materna y el trofoblasto (Sadler & Langman, 2015).

La fase lacunar es el primer indicio del establecimiento de la circulación uteroplacentaria, un sistema vital para el intercambio de gases, nutrientes y desechos entre la madre y el embrión. Este sistema comienza a formarse cuando las lagunas se llenan con sangre materna a medida que los capilares endometriales se erosionan por la actividad invasiva del sincitiotrofoblasto (Knobil & Neill, 2006).

Hipoblasto: Membrana Exocelómica o de Heuser y Origen de la Cavidad Celómica o Saco Vitelino Primitivo

En el día 9, las células del hipoblasto comienzan a migrar a lo largo del trofoblasto interno, formando la membrana exocelómica, también conocida como membrana de Heuser. Esta membrana delimita la cavidad exocelómica o saco vitelino

primitivo, una estructura temporal pero esencial en el desarrollo temprano del embrión (Sadler & Langman, 2015).

El saco vitelino primitivo desempeña múltiples funciones en el embrión en desarrollo, como proporcionar nutrientes durante las primeras semanas y participar en la formación de la circulación primitiva. Además, esta estructura es el sitio inicial de la hematopoyesis, el proceso mediante el cual se forman las células sanguíneas, antes de que se establezcan las circulaciones fetal y placentaria (Sadler & Langman, 2015).

La segunda semana del desarrollo embrionario es fundamental para el establecimiento de las bases del embarazo. Durante este periodo, se completan procesos esenciales como la implantación del blastocisto y la diferenciación de estructuras clave dentro del trofoblasto y el embrioblasto. Estos eventos son críticos no solo para la supervivencia del embrión, sino también para el éxito del embarazo a largo plazo. La formación de la cavidad amniótica, el saco vitelino primitivo, y la fase lacunar en el sincitiotrofoblasto son hitos clave que aseguran que el embrión esté preparado para el desarrollo continuo y exitoso en el entorno uterino.

Eventos del Desarrollo Embrionario durante la Segunda Semana (Días 11 al 13)

La segunda semana del desarrollo embrionario continúa con una serie de eventos cruciales que preparan al embrión para su desarrollo posterior y establecen la base de la relación materno-fetal. Durante los días 11 al 13, se producen cambios significativos en el endometrio materno, el trofoblasto y las estructuras embrionarias en desarrollo, que facilitan la implantación exitosa y la formación de las primeras estructuras circulatorias. Este análisis explorará en detalle los eventos clave de estos días, incluyendo la regeneración del epitelio endometrial, el desarrollo de la circulación uteroplacentaria, la formación del saco vitelino secundario, y la estructuración del mesodermo extraembrionario.

Días 11-12: Regeneración del Epitelio Endometrial Sano

En los días 11 y 12, el epitelio endometrial que rodea al blastocisto en implantación comienza a regenerarse. Este proceso es esencial para restaurar la integridad del endometrio tras la invasión inicial del sincitiotrofoblasto y

asegurar que el embrión esté adecuadamente sostenido y protegido dentro del útero (Sadler & Langman, 2015). La regeneración del epitelio también contribuye a la formación de una barrera que previene la entrada de agentes patógenos y asegura un entorno controlado para el desarrollo del embrión.

Sincitiotrofoblasto: Desarrollo de Lagunas, Penetración a Sinusoides Maternos y Circulación Uteroplacentaria

Durante estos días, el sincitiotrofoblasto continúa su invasión del endometrio, formando lagunas más grandes y complejas, particularmente en el polo embrionario. Estas lagunas son cruciales para la iniciación de la circulación uteroplacentaria. A medida que el sincitiotrofoblasto penetra en los sinusoides maternos, estos espacios llenos de sangre materna comienzan a conectar directamente con las lagunas, estableciendo un circuito temprano de intercambio de nutrientes y desechos entre la madre y el embrión (Moore et al., 2016). Este desarrollo marca el inicio funcional de la placenta, aunque la placenta definitiva aún se encuentra en formación.

La circulación uteroplacentaria es un paso crítico en el desarrollo temprano, ya que asegura el suministro continuo de oxígeno y nutrientes al embrión. Sin una circulación efectiva, el embrión no podría sobrevivir ni desarrollarse correctamente (Sadler & Langman, 2015).

Saco Vitelino: Mesodermo Extraembrionario y Formación de la Cavidad Coriónica

El saco vitelino primitivo, que se formó en días anteriores, comienza a ser rodeado por una capa de mesodermo extraembrionario durante los días 11 y 12. Este mesodermo deriva de las células del hipoblasto y se diferencia en una capa que rodea no solo al saco vitelino sino también a la cavidad amniótica, formando así el mesodermo extraembrionario somático (Sadler & Langman, 2015).

A medida que el mesodermo extraembrionario se expande, se forman cavidades dentro de esta capa que eventualmente se fusionan para crear el celoma extraembrionario o cavidad coriónica. Esta cavidad es importante porque separa

el embrión, la cavidad amniótica y el saco vitelino del trofoblasto externo, y ayuda a organizar las futuras estructuras placentarias (Moore et al., 2016).

Endometrio: Depósito de Glucógeno y Lípidos, Edema, Reacción Decidual

El endometrio materno, además de regenerar su epitelio, sufre cambios metabólicos y estructurales significativos. Durante estos días, el tejido endometrial se enriquece con depósitos de glucógeno y lípidos, que servirán como fuente de energía para el embrión en desarrollo (Moore et al., 2016). Este proceso se acompaña de edema, un aumento en la retención de líquidos, que suaviza y prepara el endometrio para sostener el embrión en desarrollo.

Además, el endometrio entra en una fase conocida como reacción decidual, en la cual las células del estroma endometrial se transforman en células deciduales. Estas células deciduales son fundamentales para el mantenimiento del embarazo, ya que proporcionan un ambiente inmunológicamente favorable que protege al embrión del rechazo materno (Sadler & Langman, 2015).

Día 13: Invasión del Citotrofoblasto en el Sincitiotrofoblasto

El día 13 marca el inicio de un nuevo proceso en el desarrollo del trofoblasto. Las células del citotrofoblasto comienzan a invadir el sincitiotrofoblasto, formando estructuras llamadas vellosidades primarias. Estas vellosidades son columnas de células del citotrofoblasto que se proyectan hacia el sincitiotrofoblasto y que posteriormente formarán la base de la placenta villosa (Sadler & Langman, 2015). Las vellosidades primarias son un paso inicial en la formación de la placenta, ya que más adelante serán invadidas por mesénquima extraembrionario y vasos sanguíneos para formar las vellosidades coriónicas, estructuras críticas para el intercambio materno-fetal.

Hipoblasto: Migración y Formación del Saco Vitelino Secundario o Definitivo, Quistes Exocelómicos

El hipoblasto, durante el día 13, sigue desempeñando un papel crucial en la organización de las estructuras embrionarias. Las células del hipoblasto migran a lo largo del mesodermo extraembrionario para formar una nueva capa de revestimiento interno del saco vitelino, conocido como el saco vitelino secundario

o definitivo (Moore et al., 2016). Este saco es más pequeño que el primitivo y será funcional hasta que la placenta asuma completamente sus funciones de nutrición.

Durante este proceso, pueden formarse quistes exocelómicos, que son restos de la cavidad exocelómica original. Estos quistes generalmente se encuentran en la cavidad coriónica y no tienen una función biológica significativa, pero su presencia es un indicativo del proceso dinámico de reorganización y remodelación embrionaria (Sadler & Langman, 2015).

Cavidad Coriónica: Transformación del Mesodermo en Placa Coriónica y Formación del Pedículo de Fijación o Cordón Umbilical

El mesodermo extraembrionario que rodea la cavidad coriónica empieza a diferenciarse en una estructura conocida como la placa coriónica. Esta placa se convertirá en la base de la futura placenta coriónica y es crucial para la implantación estable del embrión en la pared uterina (Sadler & Langman, 2015).

Simultáneamente, el pedículo de fijación, que conecta el embrión al trofoblasto, comienza a definirse más claramente. Este pedículo, formado por el mesodermo extraembrionario, evolucionará eventualmente para formar el cordón umbilical, la estructura que permitirá el intercambio de sangre, nutrientes y desechos entre el feto y la madre (Moore et al., 2016).

Los días 11 al 13 de la segunda semana del desarrollo embrionario son fundamentales para la preparación del embrión para las etapas posteriores del embarazo. Durante este periodo, se establecen las primeras conexiones circulatorias entre el embrión y la madre, y se forman estructuras críticas como la cavidad coriónica y el saco vitelino secundario. Además, la reacción decidual en el endometrio y la formación de las vellosidades primarias son pasos clave para asegurar que el embrión esté bien nutrido y protegido a medida que continúa su desarrollo. Estos procesos, aunque complejos, son esenciales para el establecimiento de un embarazo viable y exitoso.

Tercera Semana del Desarrollo Embrionario: Gastrulación y Formación de las Capas Germinales

La tercera semana del desarrollo embrionario es un periodo crucial en el que se establece la organización básica del embrión mediante la gastrulación. Este proceso transforma el blastocisto en una estructura trilaminar compuesta por tres capas germinales: el ectodermo, el mesodermo y el endodermo. Cada una de estas capas dará lugar a diferentes tejidos y órganos del cuerpo. En este análisis, exploraremos en detalle la gastrulación, la formación de las tres capas germinales y los derivados específicos de cada una, con especial énfasis en los sistemas y órganos formados durante este periodo.

Gastrulación: Establecimiento de las Tres Capas Germinales

La gastrulación es el proceso mediante el cual el embrión pasa de una estructura bilaminar a una trilaminar. Este proceso comienza con la formación de la línea primitiva, una estructura clave en la organización del embrión (Sadler, 2015). La línea primitiva es una banda longitudinal de células en el epiblasto que define el eje anterior-posterior del embrión y es crucial para la formación de las tres capas germinales.

Inicio con la Línea Primitiva: Nódulo y Fosita Primitiva

La línea primitiva surge en la superficie del epiblasto y se extiende a lo largo del eje longitudinal del embrión. Al final del día 14, la línea primitiva se ensancha en su extremo caudal para formar el nódulo primitivo, mientras que en su extremo anterior se forma la fosita primitiva (Moore, Persaud, & Torchia, 2016). La fosita primitiva es una depresión en el centro de la línea primitiva que actúa como el punto de entrada para las células epiblasticas que se invaginan para formar las capas germinales.

Ectodermo: Formación y Derivados

El ectodermo es la capa germinal más externa y es responsable de la formación de varias estructuras clave en el cuerpo. A medida que las células epiblasticas migran hacia el interior a través de la línea primitiva, las células que permanecen en la superficie se convierten en ectodermo. Los principales derivados del ectodermo incluyen:

Boca y Epitelio de la Cavidad Nasal: El ectodermo contribuye a la formación del epitelio que reviste la boca y la cavidad nasal, fundamentales para la ingesta y respiración (Sadler, 2015).

Células de la Cresta Neural y Melanocitos: Las células de la cresta neural, derivadas del ectodermo, migran hacia diferentes partes del cuerpo y se diferencian en varios tipos celulares, incluyendo melanocitos que son responsables de la pigmentación de la piel (Moore et al., 2016).

Sistema Nervioso Periférico y Tubo Neural: El tubo neural, que se forma a partir del ectodermo, da lugar al sistema nervioso central, mientras que las células de la cresta neural contribuyen al sistema nervioso periférico y otros tejidos (Sadler, 2015).

Cartílago Facial y Órganos de los Sentidos: El ectodermo también participa en la formación del cartílago facial y en el desarrollo de órganos de los sentidos, incluyendo la retina y las glándulas sudoríparas y sebáceas (Moore et al., 2016).

Cerebro y Médula Espinal: El tubo neural se diferencia en varias regiones del cerebro (romboencéfalo, mesencéfalo y prosencéfalo) y en la médula espinal, esenciales para la función neurológica (Sadler, 2015).

Piel y Anexos: La piel, incluidos los pelos y uñas, se desarrolla a partir del ectodermo, protegiendo al organismo y facilitando la interacción con el entorno (Moore et al., 2016).

Endodermo: Formación y Derivados

El endodermo es la capa germinal más interna y da lugar a varios sistemas y órganos importantes:

Aparato Digestivo y Glándulas Anexas: El endodermo forma el revestimiento del aparato digestivo, excluyendo la boca, la faringe y la porción terminal del recto. Además, forma las glándulas anexas como el hígado y el páncreas, que son esenciales para la digestión y el metabolismo (Sadler, 2015).

Aparato Respiratorio: El endodermo también contribuye a la formación del epitelio que reviste las vías respiratorias, incluyendo la tráquea y los pulmones (Moore et al., 2016).

Epitelio del Conducto Auditivo y Cavidad Timpánica: El endodermo reviste el conducto auditivo y la cavidad timpánica, estructuras clave para la audición (Sadler, 2015).

Vejiga Urinaria y Parte de la Uretra: El endodermo forma el epitelio de la vejiga urinaria y parte de la uretra, componentes cruciales del aparato urinario (Moore et al., 2016).

Epitelio de la Glándula Tiroides y Timo: El endodermo también reviste los folículos de la glándula tiroides y contribuye a la formación del timo, que es esencial para la función inmune (Sadler, 2015).

Mesodermo: Formación y Derivados

El mesodermo es la capa germinal intermedia y da lugar a una amplia variedad de tejidos y órganos:

Esqueleto y Músculos: El mesodermo contribuye a la formación del sistema esquelético y muscular, proporcionando la estructura y el soporte al cuerpo (Moore et al., 2016).

Aparato Urinario y Genital: El mesodermo forma el aparato urinario, incluyendo los riñones y la uretra, así como el aparato genital, que comprende los ovarios y testículos (Sadler, 2015).

Aparato Circulatorio y Sangre: El mesodermo da lugar al aparato circulatorio, incluyendo el corazón y los vasos sanguíneos, así como a las células sanguíneas (Moore et al., 2016).

Tejidos Conectivos y Musculatura Facial: Además, el mesodermo contribuye a la formación de tejidos conectivos y de la musculatura de la cara (Sadler, 2015).

La tercera semana del desarrollo embrionario es un periodo fundamental en la formación de las capas germinales y el establecimiento de la organización básica del embrión. La gastrulación y la formación de las tres capas germinales –

ectodermo, mesodermo y endodermo– sientan las bases para el desarrollo de los sistemas y órganos del cuerpo. Cada capa germinal tiene un papel específico en la formación de diferentes tejidos y estructuras, lo que destaca la complejidad y la precisión de los procesos de desarrollo embrionario. Comprender estos eventos es esencial para apreciar cómo se organiza el cuerpo humano desde sus etapas más tempranas y cómo se forman los sistemas que sostendrán la vida.



UNIDAD VI

La Sangre.

UNIDAD VI

LA SANGRE

La sangre es un tejido fluido esencial para la vida, que desempeña funciones vitales en el transporte de nutrientes y gases, la regulación de procesos fisiológicos, y la protección contra patógenos y pérdida sanguínea. Este análisis interpretativo profundiza en la fisiología de la sangre, su composición en fracciones líquida y forme, y el análisis detallado de los glóbulos rojos, con especial atención a los parámetros hematológicos. Para cada sección, se citan referencias en formato APA para respaldar la información.

Fisiología de la Sangre: Transporte, Regulación y Protección

La sangre es un tejido conectivo especializado compuesto por una matriz líquida, el plasma, y elementos formes, como los glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas. Desde una perspectiva fisiológica, la sangre desempeña tres funciones principales: transporte, regulación y protección.

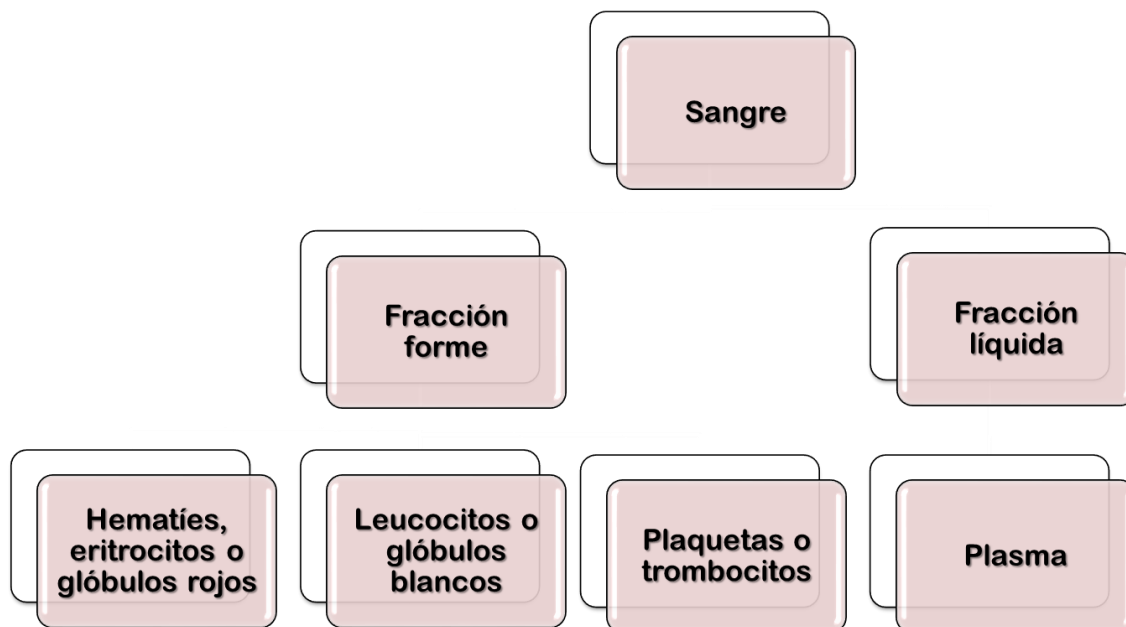
Transporte: La sangre es el medio principal a través del cual se distribuyen oxígeno, nutrientes, hormonas y productos de desecho a lo largo del cuerpo. Los eritrocitos o glóbulos rojos transportan oxígeno desde los pulmones a los tejidos y recogen dióxido de carbono para su excreción (Hall, 2016). Las proteínas plasmáticas, como la albúmina, también juegan un papel en el transporte de hormonas, ácidos grasos y otras moléculas.

Regulación: La sangre regula el equilibrio de líquidos y electrolitos, mantiene la temperatura corporal y equilibra el pH mediante sus sistemas amortiguadores. Los tampones en la sangre, como el bicarbonato y las proteínas plasmáticas, son cruciales para mantener un pH sanguíneo constante, lo cual es vital para la función enzimática y la homeostasis celular (Guyton & Hall, 2016).

Protección: La sangre protege al cuerpo de infecciones mediante los leucocitos, que responden a patógenos, y los anticuerpos presentes en el plasma. Además, las plaquetas y las proteínas plasmáticas como el fibrinógeno son esenciales en

la hemostasia, ayudando a prevenir la pérdida de sangre tras una lesión vascular (Guyton & Hall, 2016).

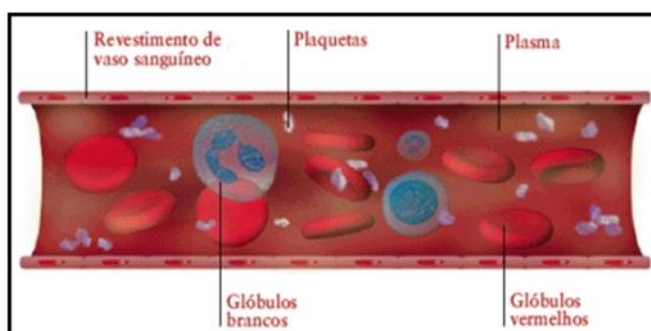
Composición de la Sangre: Fracción Líquida y Fracción Forme



Fuente: Elaboración propia.

La sangre se compone de dos fracciones principales: la fracción líquida (plasma) y la fracción forme (elementos celulares). Esta composición es esencial para cumplir con las diversas funciones fisiológicas mencionadas.

Fracción Líquida: Plasma



Fuente: Gaw et al., 2013

El plasma constituye aproximadamente el 55% del volumen total de la sangre y es un líquido amarillo pálido compuesto en su mayoría por agua (alrededor del 90%), además de proteínas, electrolitos, gases, nutrientes, y

productos de desecho (Gaw et al., 2013). Las proteínas plasmáticas representan

alrededor del 7% del volumen del plasma y se clasifican en albúminas, globulinas y fibrinógeno, siendo la albúmina la más abundante.

Composición del Plasma:

El plasma contiene diversas sustancias disueltas, incluyendo:

Proteínas Plasmáticas: Incluyen albúminas, globulinas y fibrinógeno. Las albúminas, producidas en el hígado, son las proteínas más abundantes y cumplen funciones importantes en la presión oncótica y el transporte de moléculas pequeñas. Las globulinas, que incluyen anticuerpos, tienen un papel crucial en la defensa inmunológica. El fibrinógeno es esencial para la coagulación sanguínea (Gaw et al., 2013).

Electrolitos: Sodio, potasio, cloro, calcio y bicarbonato son los principales iones presentes en el plasma, contribuyendo al equilibrio osmótico y al pH sanguíneo (Guyton & Hall, 2016).

Gases Disueltos: Oxígeno y dióxido de carbono son transportados parcialmente disueltos en el plasma, además de estar unidos a la hemoglobina en los eritrocitos (Hall, 2016).

Nutrientes y Desechos: El plasma transporta nutrientes como glucosa, aminoácidos, y lípidos, además de productos de desecho como urea y creatinina, que son eliminados a través de los riñones (Gaw et al., 2013).

Funciones de las Proteínas Plasmáticas

Las proteínas plasmáticas tienen diversas funciones que son cruciales para la fisiología de la sangre:

Función Oncótica: Las albúminas, al ser la proteína plasmática más abundante, mantienen la presión oncótica, que es esencial para la distribución adecuada de líquidos entre los vasos sanguíneos y los tejidos (Gaw et al., 2013).

Función Tampón: Las proteínas plasmáticas actúan como tampones, ayudando a mantener el pH de la sangre dentro de un rango estrecho (7.35-7.45), fundamental para la homeostasis celular (Hall, 2016).

Función Reológica: Las proteínas plasmáticas influyen en la viscosidad de la sangre, afectando su fluidez y la resistencia al flujo, lo que es esencial para el adecuado transporte de células y nutrientes (Guyton & Hall, 2016).

Función Electroquímica: Las proteínas plasmáticas, debido a sus cargas eléctricas, contribuyen a la distribución de iones y al mantenimiento del equilibrio electroquímico, que es vital para la función neuromuscular y la excitabilidad celular (Gaw et al., 2013).

Fracción Forme: Elementos Celulares de la Sangre

La fracción forme de la sangre incluye los eritrocitos, leucocitos y plaquetas. Estos elementos son esenciales para el transporte de gases, la defensa inmunitaria y la coagulación, respectivamente.

Hematíes, Eritrocitos o Glóbulos Rojos

Los eritrocitos son células anucleadas en mamíferos, cargadas de hemoglobina, la proteína responsable del transporte de oxígeno desde los pulmones a los tejidos y del dióxido de carbono desde los tejidos de vuelta a los pulmones (Hall, 2016). Tienen una vida media de aproximadamente 120 días, después de lo cual son degradados en el bazo y el hígado.

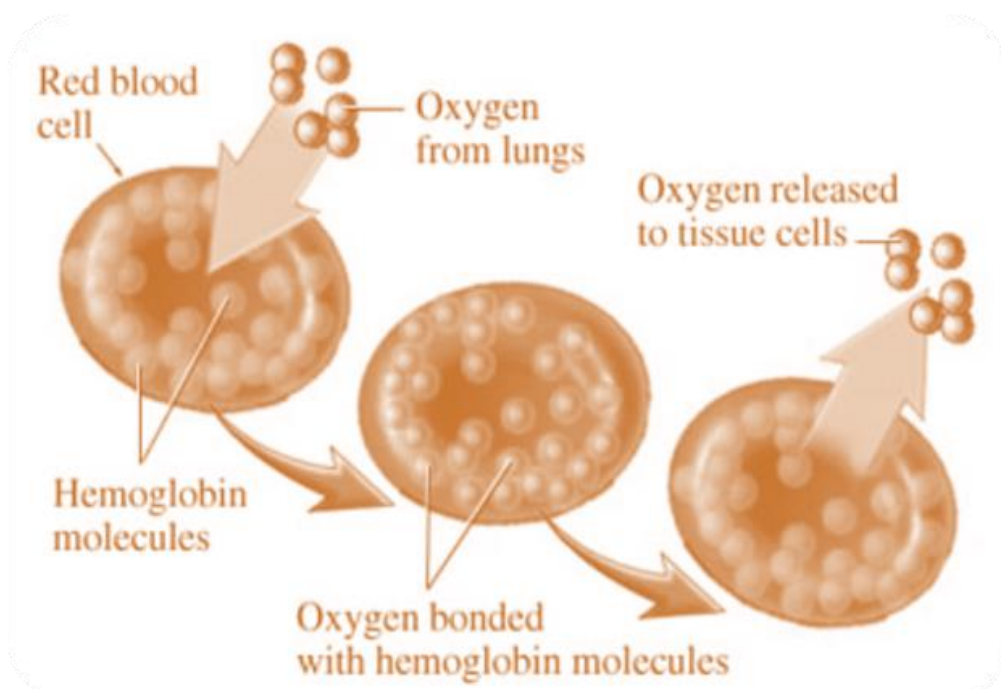
Leucocitos o Glóbulos Blancos

Los leucocitos son un grupo heterogéneo de células nucleadas que participan en la defensa inmunitaria. Se clasifican en granulocitos (neutrófilos, eosinófilos y basófilos) y agranulocitos (linfocitos y monocitos) (Guyton & Hall, 2016). Cada tipo de leucocito desempeña funciones específicas en la respuesta inmunitaria, desde la fagocitosis de patógenos hasta la producción de anticuerpos.

Plaquetas o Trombocitos

Las plaquetas son fragmentos celulares anucleados que derivan de los megacariocitos en la médula ósea. Son esenciales para la hemostasia, ya que se agregan en el sitio de una lesión vascular, formando un tapón plaquetario y liberando factores que inician la cascada de coagulación (Gaw et al., 2013).

Glóbulos Rojos: Parámetros Hematológicos Clave



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los glóbulos rojos es fundamental en la evaluación de diversas condiciones hematológicas y sistémicas. Los principales parámetros incluyen:

Conteo de Glóbulos Rojos (RBC): Refleja el número total de eritrocitos por microlitro de sangre. Un recuento bajo puede indicar anemia, mientras que un recuento alto podría sugerir policitemia o deshidratación (Rodak, 2016).

Hemoglobina (HGB): Mide la cantidad de hemoglobina en la sangre y es un indicador directo de la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre. Valores anormales pueden indicar anemia, enfermedades crónicas o trastornos hematológicos (Rodak, 2016).

Hematocrito (HCT): Representa el porcentaje de la sangre que está compuesto por eritrocitos. Un hematocrito bajo indica anemia, mientras que un hematocrito alto puede ser un signo de deshidratación o policitemia (Rodak, 2016).

Volumen Corpuscular Medio (MCV): Indica el tamaño promedio de los eritrocitos. Un MCV bajo (microcitosis) puede estar asociado con anemia por deficiencia de

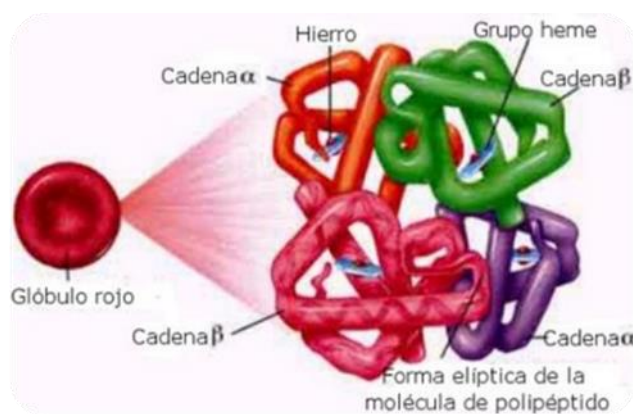
hierro, mientras que un MCV alto (macrocitosis) puede ser un signo de anemia megaloblástica (Rodak, 2016).

Distribución de los Glóbulos Rojos (RDW): Mide la variabilidad en el tamaño de los eritrocitos. Un RDW elevado puede sugerir anisocitosis, una condición común en anemias mixtas o carenciales (Rodak, 2016).

Hemoglobina Corpuscular Media (MCH): Representa la cantidad promedio de hemoglobina por eritrocito. Este parámetro es útil para diferenciar tipos de anemia, como la anemia microcítica hipocrómica (Rodak, 2016).

La sangre es un componente fundamental del cuerpo humano, con funciones vitales en el transporte de gases y nutrientes, la regulación homeostática y la protección inmunitaria. Su composición, tanto en términos de plasma como de elementos formes, refleja su complejidad y su importancia para la fisiología general del cuerpo. El análisis detallado de los glóbulos rojos y otros componentes de la sangre ofrece una ventana a la salud sistémica, permitiendo la detección y gestión de diversas condiciones clínicas. En el contexto de la biología y la medicina, entender la estructura y función de la sangre es crucial para avanzar en la comprensión de la fisiología humana y el tratamiento de enfermedades.

Hemoglobina



Fuente: Perutz, 1970

La hemoglobina es una proteína compleja que desempeña un papel vital en el transporte de oxígeno desde los pulmones a los tejidos y el retorno de dióxido de carbono desde los tejidos a los pulmones. Se encuentra principalmente en los eritrocitos, representando aproximadamente

el 95% del contenido proteico de estas células (Perutz, 1970).

Estructura de la Hemoglobina: La hemoglobina es una proteína tetramérica compuesta por cuatro cadenas polipeptídicas: dos alfa y dos beta, en la

hemoglobina adulta comúnmente llamada hemoglobina A (HbA). Cada una de estas cadenas está asociada con un grupo hemo, que contiene un ion de hierro (Fe^{2+}) capaz de unirse de manera reversible a una molécula de oxígeno (Perutz, 1970). La estructura cuaternaria de la hemoglobina permite cambios conformacionales que facilitan la carga y descarga de oxígeno, lo que se conoce como el efecto alostérico. Esto significa que la unión de oxígeno a un sitio hemo facilita la unión de oxígeno a los otros sitios hemo, y viceversa (Perutz, 1970).

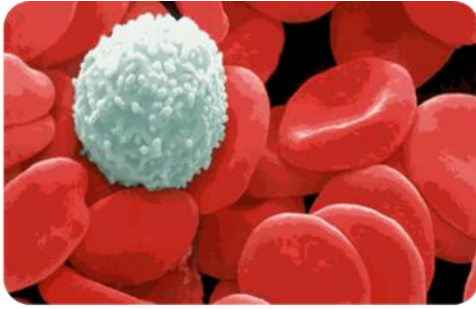
Función de Transporte: La principal función de la hemoglobina es el transporte de oxígeno desde los pulmones a las células y tejidos del cuerpo. Cada molécula de hemoglobina puede unir hasta cuatro moléculas de oxígeno. Además, la hemoglobina transporta alrededor del 20-25% del dióxido de carbono en la sangre desde los tejidos hasta los pulmones, donde se libera y se excreta. Este transporte de dióxido de carbono se realiza principalmente a través de la unión al grupo amino de las cadenas de globina, formando carbaminohemoglobina (Hall, 2016).

Grupo Hemo: Función y Composición

El grupo hemo es una estructura no proteica esencial para la función de la hemoglobina. Está compuesto por un anillo de protoporfirina IX unido a un ion de hierro en su centro (Fe^{2+}) (Ponka, 1997). Este ion de hierro es el sitio activo para la unión del oxígeno. El grupo hemo también confiere el color rojo característico de la sangre, debido a la absorción de luz en la región visible del espectro.

Función del Grupo Hemo: El hierro en el grupo hemo es capaz de alternar entre los estados de oxidación Fe^{2+} y Fe^{3+} , lo que es esencial para la función de transporte de oxígeno. En su estado reducido (Fe^{2+}), el hierro puede unirse al oxígeno. Cuando se oxida a Fe^{3+} , se convierte en metahemoglobina, que no puede unir oxígeno, lo que puede ser problemático en ciertas condiciones patológicas como la metahemoglobinemia (Ponka, 1997).

Glóbulos Blancos: Granulocitos y Agranulocitos



Fuente: Nathan, 2006

Los glóbulos blancos o leucocitos son células del sistema inmunológico que defienden al cuerpo contra infecciones y cuerpos extraños. Se clasifican en granulocitos (neutrófilos, basófilos y eosinófilos) y agranulocitos (monocitos y linfocitos), basándose en la

presencia o ausencia de gránulos visibles en el citoplasma y la morfología de su núcleo.

Granulocitos o Células Polimorfonucleares

Neutrófilos: Los neutrófilos constituyen aproximadamente el 50-70% de los leucocitos circulantes y son la primera línea de defensa contra infecciones bacterianas y fúngicas. Estos leucocitos son fagocíticos, lo que significa que pueden ingerir y destruir patógenos (Nathan, 2006). Contienen gránulos que liberan enzimas líticas y productos oxidativos, lo que contribuye a la destrucción de los microorganismos fagocitados.

Basófilos: Los basófilos son los menos comunes de los leucocitos, representando menos del 1% del total de leucocitos (Valent et al., 2012). Estos granulocitos están involucrados en respuestas alérgicas y parasitarias, y contienen gránulos llenos de histamina y heparina. La histamina liberada por los basófilos contribuye a la vasodilatación y aumento de la permeabilidad vascular en las reacciones alérgicas.

Eosinófilos: Los eosinófilos comprenden el 1-4% de los leucocitos y están implicados en la defensa contra infecciones parasitarias, así como en reacciones alérgicas y asma (Rosenberg, 2013). Estos granulocitos contienen gránulos con proteínas citotóxicas que pueden destruir parásitos multicelulares y también modular la inflamación alérgica.

Agranulocitos o Células Monomorfonucleares

Monocitos: Los monocitos representan alrededor del 2-8% de los leucocitos totales y son precursores de los macrófagos y las células dendríticas en los tejidos (Ginhoux & Jung, 2014). Estas células son fagocíticas y juegan un papel crucial en la presentación de antígenos y la eliminación de células muertas y patógenos. Además, los monocitos secretan citocinas que regulan la respuesta inmune.

Linfocitos: Los linfocitos constituyen aproximadamente el 20-40% de los leucocitos y se subdividen en linfocitos B, linfocitos T y células NK (natural killer).

Linfocitos B: Los linfocitos B son responsables de la producción de anticuerpos, lo que los hace esenciales para la inmunidad humoral (Murphy, 2012). Cuando los linfocitos B encuentran su antígeno específico, se diferencian en células plasmáticas que secretan grandes cantidades de anticuerpos específicos para ese antígeno.

Linfocitos T: Los linfocitos T se dividen en varios subtipos, incluyendo linfocitos T citotóxicos, que destruyen células infectadas o cancerosas, y linfocitos T colaboradores, que ayudan a activar otros leucocitos (Murphy, 2012). Los linfocitos T juegan un papel central en la inmunidad celular.

Análisis del Conteo de Glóbulos Blancos (WBC)

El conteo de glóbulos blancos (WBC) es una prueba hematológica básica que mide el número de leucocitos en la sangre. Un WBC normal generalmente oscila entre 4,000 y 11,000 células por microlitro (Bain, 2010). Variaciones en el conteo total de leucocitos pueden indicar diversas patologías:

Leucocitosis: Un aumento en el conteo de WBC puede indicar una infección, inflamación, o ciertos tipos de cáncer, como la leucemia (Bain, 2010).

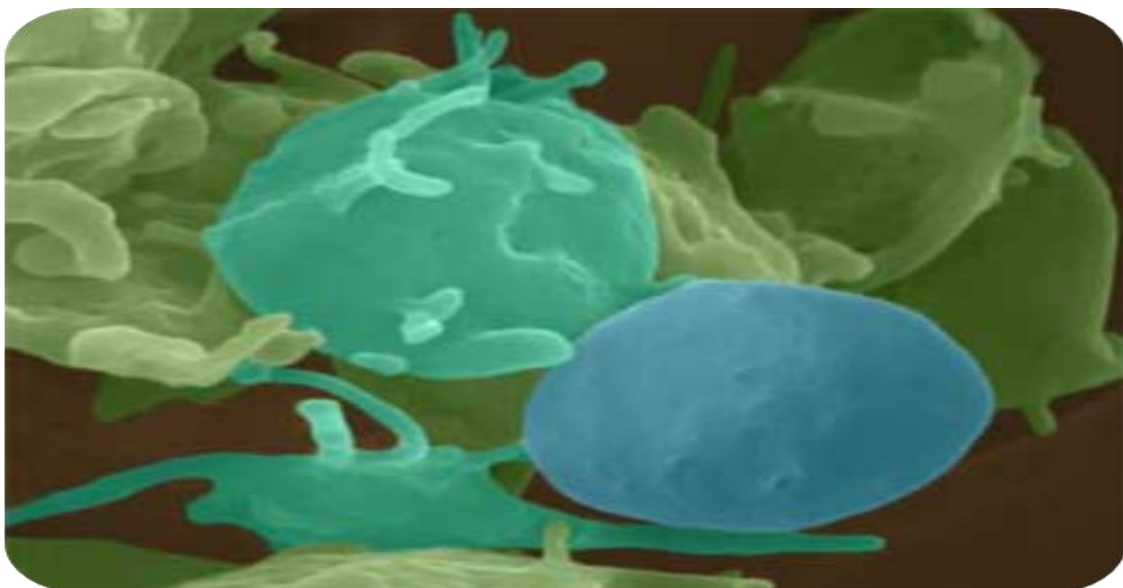
Leucopenia: Un conteo bajo de WBC puede sugerir una supresión de la médula ósea, que podría ser causada por infecciones virales, enfermedades autoinmunes, o tratamientos como la quimioterapia (Bain, 2010).

Además del conteo total, el análisis diferencial de leucocitos es crucial para determinar el porcentaje de cada tipo de leucocito, lo que puede proporcionar información adicional sobre la naturaleza de una enfermedad subyacente (Bain, 2010).

La hemoglobina y los glóbulos blancos son componentes críticos de la sangre que desempeñan funciones esenciales en el transporte de oxígeno y la defensa inmunológica, respectivamente. La hemoglobina, con su estructura compleja y su capacidad para unirse al oxígeno y al dióxido de carbono, es fundamental para la fisiología respiratoria. Los glóbulos blancos, por otro lado, constituyen la defensa del cuerpo contra infecciones y otras amenazas, con diversos tipos de células especializadas en diferentes aspectos de la inmunidad. El análisis del conteo de glóbulos blancos (WBC) es una herramienta diagnóstica clave que puede revelar mucho sobre el estado de salud del paciente, identificando posibles infecciones, inflamaciones, y otros trastornos. Este análisis demuestra la importancia de comprender tanto la estructura como la función de estos componentes sanguíneos para avanzar en la práctica médica y el tratamiento de enfermedades.

Plaquetas

Las plaquetas son elementos cruciales en el sistema hemostático del cuerpo. Su principal función es detener el sangrado, formando un tapón en los vasos sanguíneos lesionados.



Fuente: Elaboración propia.

Producción de Plaquetas: Las plaquetas se producen en la médula ósea a partir de megacariocitos, que son células grandes con un núcleo multilobulado. Los megacariocitos liberan fragmentos de su citoplasma en la circulación sanguínea, que se convierten en plaquetas. Un megacariocito puede liberar entre 1,000 y 3,000 plaquetas en su vida (Machlus & Italiano, 2013). Estas plaquetas no tienen núcleo y tienen una vida media en la circulación de aproximadamente 7 a 10 días antes de ser eliminadas por el sistema reticuloendotelial, principalmente en el bazo.

Funciones de las Plaquetas: Las plaquetas juegan un papel central en la hemostasia, el proceso que detiene el sangrado. Cuando un vaso sanguíneo se lesiona, las plaquetas se adhieren al sitio de la lesión y se activan, liberando el contenido de sus gránulos que incluye factores procoagulantes como el factor de von Willebrand, ADP, y tromboxano A₂ (Ruggeri, 2002). Estos compuestos promueven la agregación plaquetaria, formando un tapón hemostático temporal. Además, las plaquetas facilitan la activación de la cascada de coagulación, que conduce a la formación de fibrina, estabilizando el coágulo (Furie & Furie, 2008). Más allá de la coagulación, las plaquetas también están implicadas en la reparación de tejidos, angiogénesis, y en la respuesta inmunológica, liberando citoquinas y factores de crecimiento que modulan la inflamación y la curación de heridas (Nurden, 2011).

CBC, Hemograma

El hemograma completo (CBC, por sus siglas en inglés) es una prueba de laboratorio que mide varios componentes de la sangre, incluyendo glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas. Este análisis proporciona información valiosa sobre el estado general de la salud del paciente, así como la detección de una variedad de trastornos, como anemia, infección, y otros desórdenes hematológicos.

Componentes del CBC:

El CBC incluye varios parámetros clave:

Conteo de Glóbulos Rojos (RBC): Mide la cantidad de eritrocitos en la sangre, que son responsables del transporte de oxígeno.

Hemoglobina (HGB): Evalúa la cantidad de hemoglobina en la sangre, proporcionando una medida indirecta de la capacidad de transporte de oxígeno.

Hematocrito (HCT): Representa el porcentaje de la sangre que está compuesto por glóbulos rojos.

Conteo de Glóbulos Blancos (WBC): Mide la cantidad total de leucocitos en la sangre, útil para detectar infecciones o enfermedades inflamatorias.

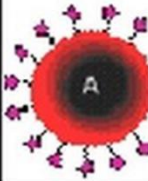
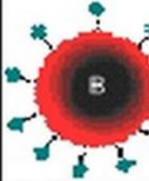
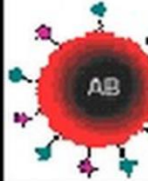
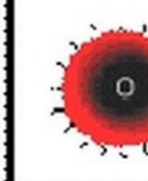
Conteo de Plaquetas (PLT): Evalúa el número de plaquetas en la sangre, fundamental para evaluar el riesgo de hemorragias o coagulopatías.

El CBC es una herramienta diagnóstica esencial que ayuda a los médicos a detectar y monitorear una amplia gama de condiciones médicas (Bain, 2010).

Grupo Sanguíneo

Los grupos sanguíneos son una clasificación de la sangre basada en la presencia o ausencia de antígenos en la superficie de los glóbulos rojos. El sistema de grupos sanguíneos más común y clínicamente relevante es el sistema ABO, descubierto por Karl Landsteiner en 1901 (Landsteiner, 1901).

Clasificación de Landsteiner: El sistema ABO clasifica la sangre en cuatro grupos principales: A, B, AB y O, basados en la presencia o ausencia de los antígenos A y B en la superficie de los eritrocitos. Además, los individuos tienen anticuerpos naturales en el plasma que reaccionan contra los antígenos que no están presentes en sus propias células. Por ejemplo, las personas con sangre tipo A tienen anticuerpos anti-B, y las personas con sangre tipo B tienen anticuerpos anti-A. Las personas con sangre tipo O no tienen antígenos A ni B, pero tienen ambos tipos de anticuerpos, mientras que las personas con sangre tipo AB tienen ambos antígenos y no tienen anticuerpos anti-A ni anti-B (Daniels, 2013).

	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO AB	GRUPO O
SANGRE ROJA CELULA				
ANTICUERPOS	 Anti A	 Anti B	Ninguno	 Anti A y Anti B
ANTIGENOS	 A Antígeno	 B Antígeno	 A y B Antigenos	No Antigenos

Fuente: Leiva, 2024.

Antígenos en los Grupos Sanguíneos:

Personas con sangre tipo A: Tienen antígeno A en la superficie de sus eritrocitos y anticuerpos anti-B en el plasma.

Personas con sangre tipo B: Tienen antígeno B en la superficie de sus eritrocitos y anticuerpos anti-A en el plasma.

Personas con sangre tipo O: No tienen antígenos A ni B en la superficie de sus eritrocitos, pero tienen anticuerpos anti-A y anti-B en el plasma.

Personas con sangre tipo AB: Tienen antígenos A y B en la superficie de sus eritrocitos y no tienen anticuerpos anti-A ni anti-B en el plasma.

Herencia del Tipo de Sangre

La herencia del tipo de sangre sigue un patrón mendeliano, donde los alelos A y B son codominantes, y el alelo O es recesivo. Esto significa que:

Tipo de sangre O: Los individuos con genotipo ii tienen sangre tipo O, ya que no expresan ni el antígeno A ni el B.

Tipo de sangre A: Los individuos con genotipo AA o Ai tienen sangre tipo A, expresando el antígeno A.

Tipo de sangre B: Los individuos con genotipo BB o Bi tienen sangre tipo B, expresando el antígeno B.

Tipo de sangre AB: Los individuos con genotipo AB expresan ambos antígenos A y B, resultando en el tipo de sangre AB (Daniels, 2013).

Este patrón de herencia explica cómo los padres con ciertos tipos de sangre pueden tener hijos con diferentes combinaciones de tipos de sangre.

Fenotipo Bombay

El fenotipo Bombay es un raro y único grupo sanguíneo que fue descubierto en Bombay (ahora Mumbai), India. Las personas con este fenotipo no expresan los antígenos A, B, ni H en la superficie de sus eritrocitos, independientemente de su genotipo ABO (Bhende et al., 1952).

Características del Fenotipo Bombay: En el fenotipo Bombay, incluso si el individuo tiene los genes para los antígenos A o B, estos no se expresan debido a la ausencia del antígeno H, que es necesario para la formación de los antígenos A y B. Como resultado, los individuos con fenotipo Bombay tienen sangre tipo O cuando se realiza una prueba convencional, pero también tienen anticuerpos anti-H además de anti-A y anti-B (Bhende et al., 1952). Este fenotipo es extremadamente raro, y su presencia tiene implicaciones importantes para la transfusión de sangre, ya que estos individuos solo pueden recibir sangre de otros con fenotipo Bombay.

Implicaciones Clínicas: Debido a la presencia de anticuerpos anti-H, una transfusión de sangre incompatible en personas con fenotipo Bombay puede llevar a una reacción hemolítica grave, similar a una reacción ABO incompatible. Por esta razón, la identificación precisa del fenotipo Bombay es crucial en la medicina transfusional (Daniels, 2013).

Las plaquetas, el CBC, el grupo sanguíneo y la clasificación de Landsteiner son elementos fundamentales en la comprensión del sistema sanguíneo humano. Las plaquetas, con su rol crucial en la coagulación y la reparación tisular, son

indispensables para la homeostasis. El CBC es una herramienta diagnóstica esencial que proporciona una visión detallada de la salud general y la función hematológica. El sistema de grupos sanguíneos ABO y su herencia genética explican la diversidad de tipos de sangre y las compatibilidades para la transfusión. Además, el raro fenotipo Bombay subraya la complejidad y las excepciones dentro de la genética del grupo sanguíneo, con implicaciones significativas para la medicina transfusional. Comprender estos aspectos es vital para avanzar en la práctica médica y mejorar los resultados de salud en diversas patologías.

Factor Rh

El factor Rh, o antígeno RhD, es una proteína que se encuentra en la superficie de los glóbulos rojos de la mayoría de las personas. Su presencia o ausencia determina si una persona es Rh positiva (Rh+) o Rh negativa (Rh-). Es crucial en la determinación de la compatibilidad sanguínea, especialmente en transfusiones y embarazos.

Distribución del Factor Rh

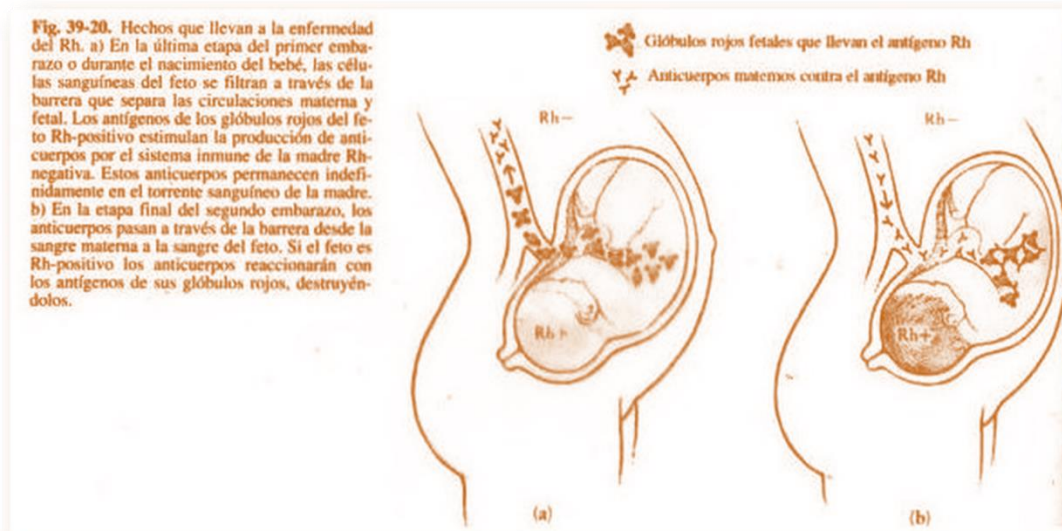
La distribución del factor Rh varía significativamente entre diferentes grupos étnicos y poblaciones. Aproximadamente el 85% de las personas en la población mundial son Rh+, mientras que el 15% son Rh-. Sin embargo, esta distribución no es uniforme en todas las etnias. Por ejemplo, en poblaciones caucásicas, aproximadamente el 15% son Rh-, mientras que en poblaciones africanas y asiáticas, este porcentaje es significativamente menor, siendo solo un 5-7% y menos del 1%, respectivamente (Daniels, 2013).

Esta variabilidad en la distribución tiene importantes implicaciones clínicas, especialmente en contextos de transfusión y en la prevención de la enfermedad hemolítica del recién nacido (EHRN). La identificación precisa del estado Rh es fundamental para evitar complicaciones potencialmente mortales tanto en transfusiones como en embarazos.

Enfermedad del Rh

La enfermedad del Rh, también conocida como eritroblastosis fetal, es una condición en la que el sistema inmunológico de una madre Rh- produce anticuerpos contra los glóbulos rojos de un feto Rh+, lo que puede llevar a la destrucción de estos glóbulos en el feto. Esto ocurre cuando una madre Rh- es sensibilizada al antígeno RhD a través de una exposición previa al antígeno, como en un embarazo anterior o una transfusión incompatible (Bowman, 2006).

Mecanismo de la Enfermedad del Rh: Durante el primer embarazo de una madre Rh- con un feto Rh+, es poco probable que se produzcan problemas graves porque el contacto entre la sangre fetal y la materna es limitado. Sin embargo, durante el parto, si la sangre del feto entra en contacto con la de la madre, su sistema inmunológico puede reconocer los glóbulos Rh+ del bebé como extraños y producir anticuerpos anti-RhD. Si en un embarazo subsecuente el feto también es Rh+, estos anticuerpos pueden atravesar la placenta y destruir los glóbulos rojos del feto, causando anemia hemolítica, ictericia severa, o incluso la muerte fetal (Bowman, 2006).



Fuente: Elaboración propia.

Exsanguinotransfusión

La exsanguinotransfusión es un procedimiento médico utilizado para tratar la enfermedad hemolítica del recién nacido causada por la incompatibilidad Rh. Este procedimiento implica la extracción gradual de la sangre del recién nacido y su reemplazo con sangre compatible, generalmente Rh negativa, para eliminar los anticuerpos maternos y los glóbulos rojos dañados del feto (Zipursky, 2003).

Procedimiento de Exsanguinotransfusión: Durante el procedimiento, se inserta una sonda en la vena umbilical del recién nacido, y se extrae una pequeña cantidad de sangre, que se reemplaza inmediatamente con sangre compatible. Este proceso se repite hasta que se haya reemplazado una gran parte de la sangre del bebé. Este procedimiento es altamente efectivo para reducir la concentración de anticuerpos anti-RhD en la circulación del recién nacido, lo que previene complicaciones graves como la ictericia nuclear y la insuficiencia cardíaca (Zipursky, 2003).

El Rhogam

Rhogam es un preparado de inmunoglobulina anti-D que se utiliza para prevenir la sensibilización de una madre Rh- durante y después del embarazo. Administrado a mujeres Rh- embarazadas durante el embarazo y después del parto, Rhogam neutraliza cualquier glóbulo rojo fetal Rh+ que haya ingresado en la circulación materna, evitando así la producción de anticuerpos anti-RhD.

Importancia de Rhogam en la Prevención de EHRN: Rhogam es altamente efectivo para prevenir la enfermedad hemolítica del recién nacido. Se administra a mujeres Rh- en la semana 28 de gestación y dentro de las 72 horas posteriores al parto si el recién nacido es Rh+. También se puede administrar después de procedimientos invasivos durante el embarazo, como la amniocentesis, o en casos de hemorragia anteparto, para proteger al feto en desarrollo en embarazos subsecuentes (Mollison, Engelfriet, & Contreras, 2005).

Importancia del Conocimiento del Rh en Transfusiones de Sangre

La compatibilidad Rh es crucial en las transfusiones sanguíneas. En general, se evita transfundir sangre Rh+ a un receptor Rh-, especialmente en mujeres en

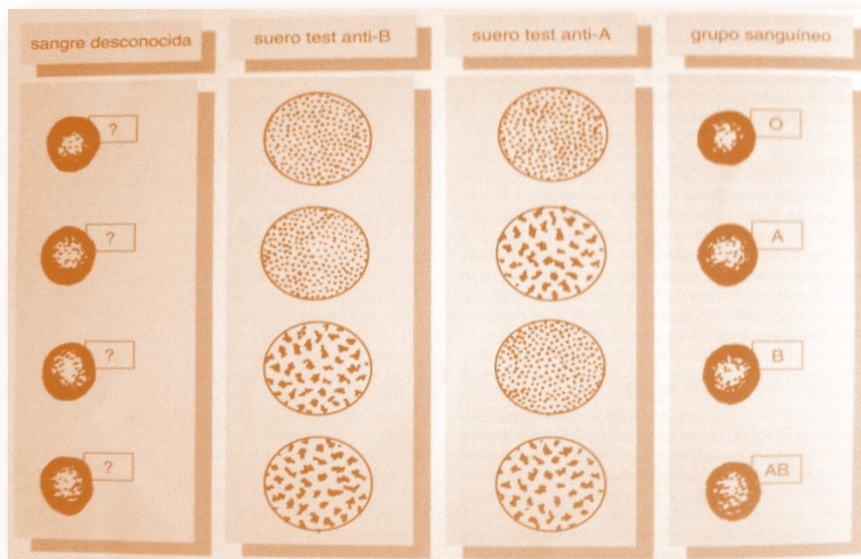
edad fértil, debido al riesgo de sensibilización y la posibilidad de desarrollar EHRN en embarazos futuros. Si un individuo Rh- recibe una transfusión de sangre Rh+, su sistema inmunológico puede desarrollar anticuerpos contra el antígeno RhD, lo que complica futuras transfusiones o embarazos (Daniels, 2013).

Compatibilidad y Transfusiones

La compatibilidad en transfusiones no solo depende del sistema ABO, sino también del factor Rh. La determinación precisa de ambos es esencial para evitar reacciones hemolíticas graves, que pueden ocurrir cuando se transfunde sangre incompatible.

Compatibilidad Rh: En general, los receptores Rh- deben recibir sangre Rh- para evitar la sensibilización. Sin embargo, en situaciones de emergencia donde la sangre Rh- no está disponible, puede ser necesaria la transfusión de sangre Rh+ a receptores Rh-, aunque esto requiere una cuidadosa monitorización y seguimiento para tratar cualquier complicación que pueda surgir (Daniels, 2013).

Determinación del Grupo Sanguíneo



Fuente: Elaboración propia.

La determinación del grupo sanguíneo es un proceso crítico en la práctica médica, especialmente en el contexto de transfusiones y donaciones de sangre.

Este proceso se realiza mediante pruebas de aglutinación, donde se mezclan los glóbulos rojos del paciente con sueros que contienen anticuerpos anti-A, anti-B y anti-D (para el factor Rh). Dependiendo de si se produce o no la aglutinación, se determina el tipo de sangre del paciente.

Procedimiento de Determinación del Grupo Sanguíneo: El procedimiento estándar de determinación del grupo sanguíneo implica mezclar una muestra de sangre del paciente con reactivos específicos. Si los glóbulos rojos se aglutinan en presencia de un anticuerpo particular, esto indica la presencia del antígeno correspondiente en la superficie de los glóbulos rojos (Mollison et al., 2005). Por ejemplo, la aglutinación con anti-A indica un grupo sanguíneo tipo A, mientras que la aglutinación con anti-B indica un grupo sanguíneo tipo B. La falta de aglutinación en ambas pruebas indica un grupo sanguíneo tipo O.

Importancia Clínica de la Determinación del Grupo Sanguíneo: La determinación precisa del grupo sanguíneo es fundamental para evitar reacciones transfusionales hemolíticas, que pueden ser fatales. Además, es crucial en el manejo de embarazos de mujeres Rh-, ya que permite la administración de Rhogam para prevenir la enfermedad hemolítica del recién nacido (Daniels, 2013).

El factor Rh y su implicación en la medicina transfusional y obstétrica subraya la importancia de una adecuada identificación y manejo del estado Rh en los pacientes. La prevención de la enfermedad del Rh mediante el uso de Rhogam, la realización de exsanguinotransfusiones en recién nacidos afectados, y la correcta determinación de la compatibilidad sanguínea son procedimientos esenciales para asegurar resultados positivos en la atención médica. La comprensión y el manejo del sistema Rh son fundamentales para la práctica clínica moderna, asegurando la seguridad de las transfusiones y la salud materno-fetal.

La Ley de la Transfusión de Sangre establece que para una transfusión segura, es esencial que el tipo de sangre del donante sea compatible con el del receptor. La incompatibilidad puede resultar en reacciones adversas graves, incluyendo reacciones hemolíticas agudas, que pueden ser fatales. La compatibilidad sanguínea depende de la presencia o ausencia de antígenos específicos, conocidos como aglutinógenos, en la superficie de los glóbulos rojos y los anticuerpos correspondientes, llamados aglutininas, en el plasma sanguíneo del receptor.

Aglutinógenos y Aglutininas

Los aglutinógenos son antígenos presentes en la superficie de los eritrocitos. Los principales tipos de aglutinógenos involucrados en la transfusión de sangre pertenecen al sistema ABO y al factor Rh. Las aglutininas, por otro lado, son anticuerpos presentes en el plasma sanguíneo que reaccionan con aglutinógenos específicos, causando la aglutinación de los eritrocitos si se mezclan tipos de sangre incompatibles.

Tipos de Aglutinógenos: A y B

Los aglutinógenos A y B son las moléculas presentes en la superficie de los glóbulos rojos que determinan los grupos sanguíneos ABO. Existen cuatro grupos principales de sangre en función de la presencia o ausencia de estos aglutinógenos:

Grupo A: Posee el aglutinógeno A en la superficie de los glóbulos rojos y la aglutinina anti-B en el plasma.

Grupo B: Posee el aglutinógeno B y la aglutinina anti-A.

Grupo AB: Posee ambos aglutinógenos A y B y no tiene aglutininas anti-A ni anti-B, lo que lo convierte en el receptor universal.

Grupo O: No tiene aglutinógenos A ni B en los glóbulos rojos pero posee tanto aglutininas anti-A como anti-B, lo que lo convierte en el donante universal.

Tipos de Aglutininas: Anti-A y Anti-B

Las aglutininas anti-A y anti-B son anticuerpos que se encuentran en el plasma sanguíneo y que atacan a los glóbulos rojos que poseen los aglutinógenos correspondientes. Si una persona con sangre del grupo A recibe sangre del grupo B, las aglutininas anti-B atacarán los glóbulos rojos del donante, causando aglutinación y destrucción de los glóbulos rojos, lo que puede resultar en una reacción hemolítica grave.

Esquematización de los Grupos Sanguíneos y Posibilidades de Transfusión entre Ellos

La compatibilidad entre los diferentes grupos sanguíneos sigue reglas específicas basadas en la presencia o ausencia de aglutinógenos y aglutininas. A continuación, se presenta un esquema simplificado de la compatibilidad entre los grupos sanguíneos:

POSIBLE		NO POSIBLE	
O	O, A, B, AB	AB	A, B, O
A	A, AB	A	B, O
B	B, AB	B	A, O
AB	AB		

Fuente: Elaboración propia.

Grupo O-: Donante universal; puede donar a todos los grupos, pero solo puede recibir de O-.

Grupo O+: Puede donar a todos los grupos Rh+ (A+, B+, AB+, O+), pero solo puede recibir de O+ y O-.

Grupo A-: Puede donar a A-, A+, AB-, y AB+; puede recibir de A- y O-.

Grupo A+: Puede donar a A+ y AB+; puede recibir de A+, A-, O+, y O-.

Grupo B-: Puede donar a B-, B+, AB-, y AB+; puede recibir de B- y O-.

Grupo B+: Puede donar a B+ y AB+; puede recibir de B+, B-, O+, y O-.

Grupo AB-: Puede donar a AB- y AB+; puede recibir de AB-, A-, B-, y O-.

Grupo AB+: Receptor universal; puede recibir de todos los grupos, pero solo puede donar a AB+.

Esta esquematización muestra que, aunque el grupo O- es el donante universal, el grupo AB+ es el receptor universal debido a la falta de aglutininas anti-A y anti-B en su plasma.

Esquematización del Factor Rh y Posibilidades de Transfusión entre Ellos

El factor Rh se refiere a la presencia o ausencia del antígeno D en la superficie de los eritrocitos. Una persona puede ser Rh positiva (Rh+) si posee este antígeno, o Rh negativa (Rh-) si carece de él. La compatibilidad Rh es crucial, especialmente en transfusiones y embarazos, donde la mezcla de sangre Rh incompatible puede causar una respuesta inmunitaria grave.

POSIBLE		NO POSIBLE	
Rh (-)	Rh (+)	Rh (+)	Rh (-)
Rh (-)	Rh (-)		
Rh (+)	Rh (+)		

Fuente: Elaboración propia.

Compatibilidad Rh:

Rh+: Puede recibir tanto sangre Rh+ como Rh-.

Rh-: Solo puede recibir sangre Rh- para evitar sensibilización y desarrollo de anticuerpos anti-D, lo que podría complicar futuras transfusiones o embarazos.

Posibilidades de Donación y Recepción

La donación y recepción de sangre siguen principios estrictos para evitar reacciones adversas:

Donación de Sangre:

Donantes O-: Pueden donar a cualquier grupo, siendo los donantes universales.

Donantes O+: Pueden donar a todos los receptores Rh+.

Donantes A- y B-: Pueden donar a sus grupos respectivos y a AB- y AB+.

Donantes A+ y B+: Pueden donar a receptores Rh+ con los mismos aglutinógenos.

Donantes AB- y AB+: Pueden donar solo dentro de su grupo AB, con AB+ siendo más restringido.

Recepción de Sangre:

Receptores O-: Solo pueden recibir de O-.

Receptores O+: Pueden recibir de O+ y O-.

Receptores A- y B-: Pueden recibir de su grupo y O-.

Receptores A+ y B+: Pueden recibir de su grupo, O+, y O-.

Receptores AB+: Pueden recibir de cualquier grupo, siendo los receptores universales.

Este conocimiento es esencial en contextos médicos, donde la transfusión incorrecta puede resultar en reacciones hemolíticas agudas, fallo renal, shock, y en casos extremos, la muerte.

Consideraciones Clínicas

Además de la compatibilidad ABO y Rh, existen otros antígenos menores en los glóbulos rojos que pueden afectar la compatibilidad sanguínea, como el sistema Kell, el sistema Duffy, y el sistema Kidd. Aunque estos no son tan críticos como

el sistema ABO y Rh, pueden provocar reacciones adversas en transfusiones repetidas o en pacientes que han sido previamente sensibilizados.

En el caso de las transfusiones de plasma, la compatibilidad ABO sigue siendo importante, pero la compatibilidad Rh no es necesaria porque el plasma no contiene eritrocitos. Sin embargo, se debe tener en cuenta la presencia de aglutininas en el plasma del donante que podrían reaccionar con los glóbulos rojos del receptor.

Compatibilidad en la Práctica Clínica: En la práctica clínica, antes de realizar una transfusión, se realizan pruebas de compatibilidad cruzada para asegurar que la sangre del donante no provoque una reacción adversa en el receptor. Estas pruebas incluyen la mezcla del plasma del receptor con los glóbulos rojos del donante y la observación de cualquier signo de aglutinación o hemólisis.

La comprensión de la Ley de la Transfusión de Sangre y la correcta identificación de los aglutinógenos y aglutininas es fundamental para garantizar transfusiones seguras. La compatibilidad entre los diferentes grupos sanguíneos y factores Rh es un componente crítico en la medicina transfusional, y la esquematización de estas relaciones ayuda a prevenir reacciones transfusionales peligrosas. En última instancia, la práctica médica depende de un manejo preciso de la compatibilidad sanguínea para salvaguardar la salud y el bienestar de los pacientes.

La cicatrización

La cicatrización es un proceso biológico complejo y crucial para la restauración de la integridad de los tejidos después de una lesión. Este proceso involucra una serie de etapas que están finamente reguladas para garantizar una reparación efectiva y funcional del tejido. La cicatrización se divide tradicionalmente en tres fases: inflamatoria, proliferativa y de remodelación. Cada una de estas fases está caracterizada por eventos celulares y moleculares específicos que permiten la progresión desde la lesión inicial hasta la formación de una cicatriz madura.

Fases de la Cicatrización

Fase Inflamatoria

La fase inflamatoria es la primera etapa en el proceso de cicatrización y se inicia inmediatamente después de la lesión. Esta fase tiene una duración variable, generalmente entre 2 a 5 días, y su objetivo principal es limpiar la herida de detritos y prepararla para la reparación del tejido. La fase inflamatoria se caracteriza por la presencia de rubor, calor, hinchazón y dolor, todos signos de inflamación que resultan de la vasodilatación y el aumento de la permeabilidad vascular.

Cascada de Coagulación

La cascada de coagulación es uno de los primeros eventos que ocurren en la fase inflamatoria. Inmediatamente después de una lesión, se activa la cascada de coagulación, que culmina en la formación de un coágulo de fibrina. Este coágulo no solo detiene el sangrado, sino que también sirve como una matriz provisional para la migración de células inflamatorias y otras células involucradas en la cicatrización. La activación de las plaquetas durante este proceso libera una variedad de factores de crecimiento, como el factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF) y el factor de crecimiento transformante beta (TGF- β), que son esenciales para la activación de las células en las fases posteriores del proceso de cicatrización (Sorg, Tilkorn, Hager, Hauser, & Mirastschijski, 2017).

Plaquetas

Las plaquetas juegan un papel central en la fase inflamatoria de la cicatrización. Además de ser cruciales para la formación del coágulo, las plaquetas liberan una variedad de mediadores químicos, incluyendo factores de crecimiento y citocinas, que atraen a los leucocitos y otros tipos celulares a la herida. Estos mediadores también contribuyen a la activación y proliferación de las células que participan en la reparación del tejido (Scharffetter-Kochanek et al., 2018).

Vasoconstricción y Vasodilatación

La respuesta vascular a la lesión es biphasic, comenzando con una vasoconstricción inicial que reduce la pérdida de sangre. Este es seguido por una vasodilatación, mediada por histamina y otras sustancias vasoactivas, que permite la llegada de leucocitos y proteínas plasmáticas al sitio de la lesión. Esta vasodilatación también facilita el proceso inflamatorio, aumentando el flujo sanguíneo y la permeabilidad de los vasos sanguíneos, lo que resulta en la extravasación de fluidos y células al tejido lesionado (Wilgus & Roy, 2013).

Leucocitos Polimorfonucleares y Macrófagos

Los leucocitos polimorfonucleares (PMN), principalmente neutrófilos, son los primeros en llegar al sitio de la herida. Su función principal es fagocitar bacterias y detritos celulares, previniendo la infección y limpiando la herida. Los neutrófilos también liberan enzimas proteolíticas y radicales libres que ayudan en la degradación del tejido dañado (Wang, 2018).

Los macrófagos, que se derivan de los monocitos circulantes, son esenciales en la transición de la fase inflamatoria a la fase proliferativa. Los macrófagos no solo continúan con la fagocitosis de restos celulares y microbios, sino que también liberan una amplia gama de factores de crecimiento que estimulan la proliferación celular, la angiogénesis y la síntesis de matriz extracelular. Además, los macrófagos regulan la resolución de la inflamación al secretar citocinas antiinflamatorias, promoviendo así la transición a la fase proliferativa (Wynn & Vannella, 2016).

Fase Proliferativa

La fase proliferativa es la segunda etapa del proceso de cicatrización y se caracteriza por la formación de tejido de granulación, la angiogénesis, la proliferación de fibroblastos y la reepitelización de la superficie de la herida. Esta fase generalmente comienza alrededor del tercer día después de la lesión y puede durar hasta dos semanas.

Angiogénesis

La angiogénesis, o la formación de nuevos vasos sanguíneos, es un componente crucial de la fase proliferativa. Este proceso es estimulado por la hipoxia local y la liberación de factores de crecimiento angiogénicos, como el factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF). La angiogénesis no solo proporciona oxígeno y nutrientes esenciales para las células en proliferación, sino que también es crucial para la formación del tejido de granulación (Tonnesen, Feng, & Clark, 2000).

Fibroplasia y Formación de Tejido Granular

La fibroplasia implica la proliferación de fibroblastos y la síntesis de componentes de la matriz extracelular, como el colágeno, que proporcionan soporte estructural al tejido en reparación. Los fibroblastos son atraídos al sitio de la herida por factores de crecimiento liberados por macrófagos y plaquetas. Una vez en el sitio de la lesión, los fibroblastos se diferencian en miofibroblastos, que son células contractiles que ayudan a cerrar la herida (Gurtner, Werner, Barrandon, & Longaker, 2008).

Disposición de Colágeno

La síntesis y disposición de colágeno son esenciales para la fuerza y la integridad de la cicatriz. Durante la fase proliferativa, el colágeno tipo III es predominantemente sintetizado y depositado en una disposición desorganizada. A medida que la cicatriz madura, este colágeno es reemplazado por colágeno tipo I, que se dispone de manera más organizada, aumentando la resistencia a la tracción del tejido cicatrizado (Ehrlich, 2007).

Epitelialización

La epitelialización es el proceso mediante el cual las células epiteliales migran y proliferan para cubrir la superficie de la herida. Este proceso comienza en los márgenes de la herida y avanza hacia el centro, formando una nueva capa de epidermis. La reepitelización es crucial para restablecer la barrera cutánea y prevenir la infección (Martin, 1997).

Contracción

La contracción de la herida es mediada por los miofibroblastos y es responsable de la reducción del tamaño de la herida. Este proceso es más prominente en heridas que cicatrizan por segunda intención, donde hay una pérdida significativa de tejido. La contracción contribuye a la aproximación de los bordes de la herida, facilitando el cierre y la reparación del tejido (Agha & Ogawa, 2010).

Fase de Remodelación

La fase de remodelación es la última etapa del proceso de cicatrización y puede durar desde varios meses hasta años, dependiendo de la magnitud de la lesión y otros factores. Durante esta fase, el tejido de granulación es reemplazado gradualmente por una cicatriz madura, que es menos celular y más rica en colágeno tipo I.

Remodelación de la Matriz Extracelular

Durante la fase de remodelación, la matriz extracelular sufre una reorganización significativa. Las metaloproteinasas de matriz (MMPs) desempeñan un papel crucial en la degradación de la matriz extracelular provisional y la remodelación del colágeno. Este proceso está finamente regulado por inhibidores tisulares de las metaloproteinasas (TIMPs) para asegurar un equilibrio entre la síntesis y la degradación del colágeno (Lau, Bidinotto, & Siu, 2020).

Aumento de la Resistencia a la Tensión

La resistencia a la tensión de la cicatriz aumenta progresivamente durante la fase de remodelación. Inicialmente, la cicatriz es frágil debido a la disposición desorganizada del colágeno tipo III. Con el tiempo, este colágeno es reemplazado por colágeno tipo I, que se organiza en haces paralelos, lo que aumenta significativamente la fuerza y la durabilidad de la cicatriz (Levenson, Geever, Crowley, Oates, & Berard, 1965).

Reducción de la Vascularización

A medida que la cicatriz madura, la vascularización disminuye debido a la apoptosis de los vasos sanguíneos formados durante la fase proliferativa. Esta

reducción en la vascularización es un signo de la maduración de la cicatriz, que se convierte en un tejido más denso y menos metabólicamente activo (Tandara & Mustoe, 2010).

Modificación de la Cicatriz

En algunos casos, la cicatrización puede dar lugar a cicatrices patológicas, como cicatrices hipertróficas o queloides. Estas cicatrices se caracterizan por un exceso de colágeno y una disposición desorganizada de la matriz extracelular. El manejo de estas cicatrices puede incluir terapia con láser, inyecciones de corticosteroides o intervenciones quirúrgicas para mejorar la apariencia y la funcionalidad de la cicatriz (Nedelec & Schopflocher, 2008).

Coagulación

La coagulación es un proceso biológico esencial que se activa cuando ocurre una lesión en un vaso sanguíneo, evitando la pérdida excesiva de sangre y facilitando la reparación del tejido dañado. Este proceso implica una serie de reacciones enzimáticas que culminan en la formación de un coágulo de fibrina, el cual actúa como una barrera física que sella la lesión vascular. El sistema de coagulación no solo es crucial para la hemostasia, sino que también interactúa estrechamente con el sistema inmunológico, especialmente en el contexto de la inflamación y la reparación tisular.

El proceso de coagulación se puede dividir en tres fases principales: la fase de iniciación, la fase de amplificación y la fase de propagación. En la fase de iniciación, se expone el factor tisular (TF) en el sitio de la lesión, lo que activa el factor VII y, en última instancia, lleva a la activación del factor X. En la fase de amplificación, los factores de coagulación activados amplifican la señal inicial, lo que resulta en la generación de trombina. Finalmente, en la fase de propagación, la trombina cataliza la conversión del fibrinógeno en fibrina, que forma la red que estabiliza el coágulo.

Inmunología

La inmunología es la rama de la biología que estudia el sistema inmunológico, las funciones que realiza y cómo protege al organismo de las infecciones y

enfermedades. El sistema inmunológico es fundamental para la supervivencia, ya que se encarga de reconocer y neutralizar agentes patógenos como bacterias, virus, hongos y parásitos, así como células anormales que pueden originar tumores. La finalidad principal del sistema inmunológico es mantener la homeostasis y la integridad del organismo frente a amenazas internas y externas.

Sistema Inmunológico

El sistema inmunológico es una red compleja de células, tejidos y órganos que colaboran para defender al cuerpo contra las infecciones. Este sistema se divide en dos grandes ramas: la inmunidad innata y la inmunidad adquirida. La inmunidad innata es la primera línea de defensa, es rápida y no específica, actuando de manera inmediata frente a una amplia gama de patógenos. La inmunidad adquirida, por otro lado, es más lenta, pero es específica y posee la capacidad de recordar a los patógenos, proporcionando una protección más eficaz en exposiciones futuras.

Respuesta Inmunitaria: Inmunidad Innata e Inmunidad Adquirida

La respuesta inmunitaria es el conjunto de mecanismos que el cuerpo emplea para defenderse de las infecciones. Esta respuesta se divide en dos tipos: inmunidad innata e inmunidad adquirida.

Inmunidad Innata

La inmunidad innata es la primera línea de defensa del cuerpo y se activa de manera inmediata tras la entrada de un patógeno. Esta inmunidad no es específica, lo que significa que no distingue entre diferentes tipos de patógenos. Los componentes clave de la inmunidad innata incluyen barreras físicas como la piel y las membranas mucosas, así como células inmunológicas especializadas como los granulocitos y los macrófagos. Además, la inmunidad innata incluye mecanismos como la inflamación, que es una respuesta inmediata al daño tisular o a la infección, y el sistema del complemento, que ayuda a destruir patógenos o marcar células infectadas para su eliminación (Medzhitov, 2007).

Inmunidad Adquirida

La inmunidad adquirida, también conocida como inmunidad adaptativa, es más específica que la inmunidad innata. Esta respuesta se desarrolla cuando el cuerpo es expuesto a un patógeno y forma células inmunológicas específicas para combatir ese patógeno en particular. La inmunidad adquirida tiene la capacidad de "recordar" a los patógenos a través de la creación de células de memoria, lo que permite una respuesta más rápida y efectiva en caso de futuras infecciones. Los linfocitos B y T son las principales células involucradas en la inmunidad adquirida, donde los linfocitos B producen anticuerpos específicos contra los patógenos, y los linfocitos T destruyen células infectadas y regulan otras respuestas inmunológicas (Murphy & Weaver, 2016).

Componentes del Sistema Inmune

El sistema inmune está compuesto por diversas células y moléculas que actúan en conjunto para identificar y eliminar agentes patógenos. Entre los principales componentes celulares se encuentran los granulocitos, los monocitos y los linfocitos, cada uno con funciones especializadas en la respuesta inmune.

Células Inmunológicas: Granulocitos, Monocitos y Linfocitos

Las células inmunológicas son los soldados del sistema inmunológico, cada tipo con roles específicos en la defensa del organismo.

Granulocitos

Los granulocitos son un tipo de glóbulo blanco que contiene gránulos en su citoplasma, los cuales están llenos de enzimas que pueden destruir microorganismos. Se dividen en tres tipos principales: neutrófilos, eosinófilos y basófilos.

Neutrófilos: Son los primeros en llegar al sitio de la infección y se encargan de fagocitar y destruir bacterias y hongos. Son la población más abundante de granulocitos y juegan un papel crucial en la respuesta inflamatoria (Borregaard, 2010).

Eosinófilos: Están involucrados principalmente en la defensa contra parásitos y en la respuesta alérgica. Liberan mediadores inflamatorios que contribuyen a la destrucción de patógenos y a la modulación de la respuesta inmune (Rothenberg & Hogan, 2006).

Basófilos: Son los menos comunes de los granulocitos y están implicados en las reacciones alérgicas y en la defensa contra parásitos. Liberan histamina y otros mediadores que amplifican la respuesta inflamatoria (Stone et al., 2010).

Monocitos (Macrófagos)

Los monocitos son un tipo de glóbulo blanco que circula en la sangre y que, al migrar a los tejidos, se diferencia en macrófagos. Los macrófagos son células fagocíticas que ingieren y destruyen patógenos, células muertas y otros desechos celulares. Además de su función en la inmunidad innata, los macrófagos también juegan un papel en la inmunidad adquirida, ya que presentan antígenos a los linfocitos T, lo que ayuda a iniciar y amplificar la respuesta inmune adaptativa (Gordon & Taylor, 2005).

Linfocitos: Linfocitos B y Linfocitos T

Los linfocitos son células fundamentales en la inmunidad adquirida, y se dividen principalmente en linfocitos B y linfocitos T, cada uno con funciones específicas.

Linfocitos B: Son responsables de la producción de anticuerpos, que son proteínas que se unen a antígenos específicos en los patógenos para neutralizarlos o marcarlos para su destrucción. Los linfocitos B también se diferencian en células de memoria, que proporcionan una inmunidad duradera contra patógenos específicos (Janeway et al., 2001).

Linfocitos T: Se dividen en varias subpoblaciones, cada una con funciones especializadas en la inmunidad adaptativa.

Linfocitos T Citotóxicos o Linfocitos CD8+: Estos linfocitos reconocen y destruyen células infectadas por virus o células cancerosas presentando el complejo mayor de histocompatibilidad (MHC) de clase I (Zinkernagel & Doherty, 1974).

Linfocitos CD4+ o Linfocitos T Cooperadores (Helper T Cells): Ayudan a activar otros linfocitos, como los linfocitos B y los linfocitos T citotóxicos, y también juegan un papel clave en la regulación de la respuesta inmune, liberando citocinas que coordinan la actividad de otras células inmunológicas (Mosmann & Coffman, 1989).

Linfocitos T de Memoria: Estos linfocitos persisten después de una infección y proporcionan una respuesta rápida y efectiva si el mismo patógeno vuelve a infectar el organismo (Sallusto et al., 1999).

Linfocitos T Reguladores (Células T Supresoras): Ayudan a mantener la tolerancia inmunológica y previenen las respuestas autoinmunes, regulando y suprimiendo la activación de otros linfocitos para evitar el daño a los tejidos sanos (Sakaguchi et al., 2008).

Células T Natural Killers (NKT): Estas células tienen características tanto de las células NK (Natural Killer) como de los linfocitos T. Pueden reconocer células infectadas o transformadas sin la necesidad de antígenos específicos y son cruciales en la defensa contra infecciones virales y tumores (Godfrey et al., 2010).

Línea Linfoide y Línea Mieloide

Las líneas linfoide y mieloide representan dos ramas cruciales del sistema hematopoyético, que es responsable de la formación de todas las células sanguíneas en el cuerpo. Estas líneas celulares se derivan de una célula madre hematopoyética pluripotente, que tiene la capacidad de diferenciarse en varios tipos de células sanguíneas, desempeñando funciones vitales en la inmunidad y la homeostasis.

La línea linfoide da origen a los linfocitos, que incluyen tres tipos principales: linfocitos T, linfocitos B y células asesinas naturales (NK). Los linfocitos T son esenciales para la inmunidad celular, respondiendo a antígenos específicos a través de la activación de células T citotóxicas, que destruyen células infectadas o malignas. Los linfocitos B son responsables de la inmunidad humoral, produciendo anticuerpos que neutralizan patógenos. Las células NK, por otro

lado, participan en la eliminación de células infectadas por virus o tumorales sin necesidad de una activación previa.

Por otro lado, la línea mieloide da lugar a una amplia gama de células, incluyendo eritrocitos, plaquetas, monocitos, granulocitos (neutrófilos, eosinófilos y basófilos) y células dendríticas. Los monocitos, una vez migrados a los tejidos, se convierten en macrófagos, células fundamentales en la fagocitosis y la presentación de antígenos. Los granulocitos, a su vez, juegan roles variados en la respuesta inmune: los neutrófilos son los primeros en responder a infecciones bacterianas, los eosinófilos están implicados en la respuesta a parásitos y alergias, y los basófilos liberan histamina en reacciones alérgicas.

Proteínas

Las proteínas inmunológicas son componentes esenciales del sistema inmune, cada una desempeñando funciones especializadas.

Inmunoglobulinas: También conocidas como anticuerpos, son proteínas producidas por los linfocitos B en respuesta a la presencia de antígenos. Estas moléculas tienen una estructura básica en forma de "Y", compuesta por dos cadenas pesadas y dos ligeras, con una región variable que se une específicamente al antígeno. Existen diferentes clases de inmunoglobulinas, como IgG, IgM, IgA, IgE e IgD, cada una con funciones particulares en la defensa inmune. Por ejemplo, la IgG es la más abundante y tiene un papel crucial en la opsonización, neutralización de toxinas y activación del complemento.

Citoquinas: Son proteínas pequeñas pero poderosas que actúan como mensajeros entre las células inmunológicas. Pueden ser proinflamatorias o antiinflamatorias y regulan la intensidad y duración de la respuesta inmune. Las citoquinas incluyen interleucinas (ILs), interferones (IFNs), factores de necrosis tumoral (TNFs) y quimiocinas, entre otras. Por ejemplo, las interleucinas son fundamentales para la comunicación entre linfocitos, mientras que los interferones son críticos en la respuesta antiviral.

Proteínas del complemento: Este sistema de más de 30 proteínas plasmáticas actúa en cascada para destruir patógenos, facilitar la fagocitosis y contribuir a la inflamación. Se activa por diferentes vías: la clásica, que es dependiente de

anticuerpos; la lectina, que se activa por patógenos; y la alternativa, que es independiente de anticuerpos. Los componentes del complemento, como C3b, opsonizan patógenos, facilitando su eliminación por fagocitos, mientras que el complejo de ataque a la membrana (MAC) perfora las membranas celulares de los patógenos, llevándolos a la lisis.

Antígeno

Un antígeno es cualquier sustancia que puede ser reconocida por el sistema inmune, provocando una respuesta. Los antígenos pueden ser proteínas, polisacáridos, lípidos o ácidos nucleicos presentes en la superficie de patógenos o células infectadas.

La unión antígeno-anticuerpo (Ag-Ac) es un proceso clave en la respuesta inmune humoral. Esta interacción es altamente específica, con el anticuerpo reconociendo un epítopo particular, que es la porción del antígeno que se une al anticuerpo. Esta unión puede llevar a la neutralización del patógeno, la opsonización o la activación del complemento.

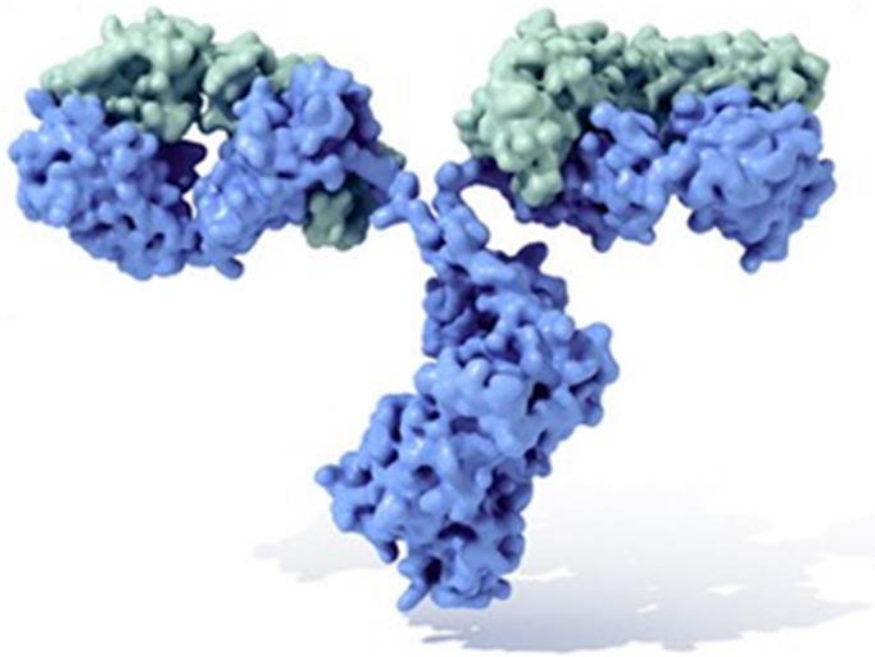
Los epítopos son pequeñas secuencias de aminoácidos o azúcares dentro de un antígeno que son específicamente reconocidas por los anticuerpos. Un solo antígeno puede tener múltiples epítopos, permitiendo que diferentes anticuerpos se unan a él simultáneamente.

Las moléculas inmunológicas involucradas en la respuesta al antígeno incluyen los receptores de linfocitos T (TCR), los receptores de linfocitos B (BCR), el complejo mayor de histocompatibilidad (MHC) y las inmunoglobulinas. Estos receptores permiten a las células inmunológicas reconocer y responder a los antígenos.

Los haptenos son moléculas pequeñas que, por sí solas, no pueden provocar una respuesta inmune. Sin embargo, cuando se unen a una proteína "carrier" de mayor tamaño, pueden actuar como antígenos, siendo reconocidos por el sistema inmune. Este concepto es crucial en la comprensión de las reacciones alérgicas a fármacos, donde un medicamento actúa como hapteno.

Anticuerpos

Los anticuerpos son proteínas esenciales para la inmunidad adaptativa, producidas por los linfocitos B en respuesta a la exposición a antígenos. Tienen una estructura en forma de "Y", con dos regiones fundamentales: la región constante, que determina la clase del anticuerpo, y la región hipervariable, que es responsable de la especificidad en la unión al antígeno. Esta región hipervariable, también conocida como región de determinante de complementariedad (CDR), permite que los anticuerpos reconozcan una amplia diversidad de antígenos.



Fuente: Medline Plus, 2024.

Los anticuerpos contribuyen a la inmunidad de varias maneras. Pueden neutralizar patógenos directamente al unirse a sus sitios activos, impedir la adhesión de virus y bacterias a las células del hospedador, y marcar patógenos para su destrucción mediante opsonización, facilitando su reconocimiento por fagocitos como macrófagos y neutrófilos. Además, los anticuerpos pueden activar el sistema del complemento, lo que lleva a la lisis de células infectadas o patógenos.

En resumen, la línea linfóide y mieloide, las proteínas inmunológicas, los antígenos y anticuerpos forman una red compleja y coordinada que permite al

sistema inmune proteger al organismo contra infecciones, eliminar células dañadas y mantener la homeostasis. Estas funciones críticas son el resultado de interacciones precisas entre diversas células y moléculas, demostrando la sofisticación y adaptabilidad del sistema inmune.

Enfermedades del Sistema Eritrocitario

Las enfermedades del sistema eritrocitario afectan principalmente a los glóbulos rojos (eritrocitos), que son cruciales para el transporte de oxígeno en el cuerpo. Entre las enfermedades más comunes se encuentran la anemia y la policitemia.

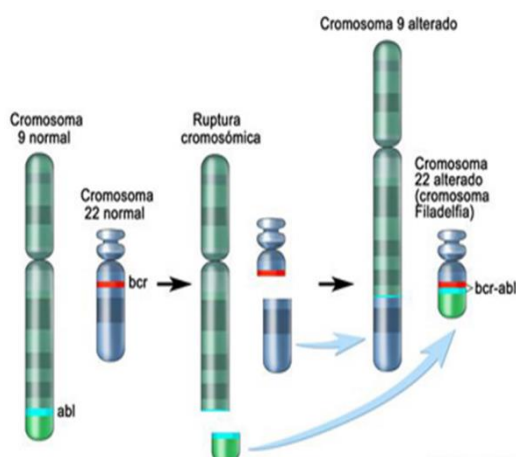


Anemia: Es una condición caracterizada por la disminución del número de glóbulos rojos o de la hemoglobina, lo que lleva a una menor capacidad de transporte de oxígeno. Las anemias pueden ser causadas por deficiencias nutricionales (como la anemia ferropénica), trastornos genéticos (como la anemia de células falciformes), o enfermedades crónicas. Los síntomas incluyen fatiga, debilidad y palidez .

Policitemia: Se refiere a un aumento anormal en el número de glóbulos rojos, lo que puede provocar un engrosamiento de la sangre y aumentar el riesgo de trombosis. La policitemia vera es un tipo de policitemia que es una enfermedad mieloproliferativa crónica, en la cual la médula ósea produce demasiados glóbulos rojos debido a mutaciones genéticas.

Enfermedades del Sistema Leucocitario

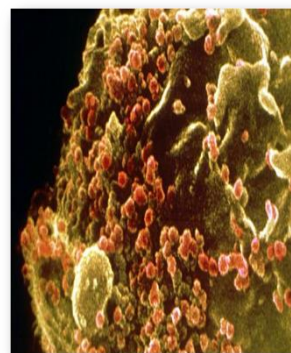
El sistema leucocitario, compuesto por glóbulos blancos, es esencial para la defensa del cuerpo contra infecciones y enfermedades. Las enfermedades del sistema leucocitario incluyen varias formas de leucemia y trastornos inmunológicos.



Leucemia: Es un tipo de cáncer que afecta la sangre y la médula ósea, caracterizado por la proliferación incontrolada de leucocitos inmaduros. Existen varios tipos de leucemia, como la leucemia linfoblástica aguda (LLA) y la leucemia mieloide crónica (LMC). En la LMC, una anomalía cromosómica conocida como cromosoma Filadelfia es

un factor clave en la patogénesis de la enfermedad .

SIDA/VIH: El Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA) es causado por la infección con el Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH), que ataca y debilita el sistema inmunológico, específicamente los linfocitos T CD4+. Esto conduce a una mayor susceptibilidad a infecciones y ciertos tipos de cáncer.



Enfermedades de la Hemostasia

La hemostasia es el proceso que previene el sangrado mediante la formación de coágulos de sangre. Las enfermedades de la hemostasia incluyen trastornos de la coagulación como la hemofilia y la enfermedad de von Willebrand.

Hemofilia: Es un trastorno genético en el cual la sangre no coagula normalmente debido a la falta de factores de coagulación específicos. Los pacientes con hemofilia experimentan hemorragias prolongadas que pueden ser espontáneas o provocadas por lesiones menores .

Hemopatías Malignas

Las hemopatías malignas son enfermedades neoplásicas que afectan a los componentes celulares de la sangre. Estas incluyen leucemias, linfomas y mielomas, que afectan a diferentes líneas celulares en la sangre y la médula ósea.

Linfoma: Es un cáncer que se origina en los linfocitos, un tipo de glóbulo blanco. Los linfomas se dividen en dos categorías principales: linfoma de Hodgkin y linfoma no Hodgkin, dependiendo de las características celulares y moleculares.

Principales Síndromes Hematológicos

Los síndromes hematológicos abarcan una variedad de síntomas y signos clínicos asociados con trastornos de la sangre. Cada síndrome hematológico tiene implicaciones diagnósticas y terapéuticas específicas.

Síndrome Anémico: Este síndrome se caracteriza por síntomas relacionados con la anemia, como fatiga, disnea y palidez. Es crucial identificar la causa subyacente de la anemia para implementar un tratamiento adecuado .

Síndrome Poliglobúlico: Este síndrome se presenta con un aumento en el número de glóbulos rojos, lo que puede ser un signo de policitemia. Los pacientes pueden experimentar síntomas como cefalea, mareos y prurito .

Síndrome Granulocitopénico: Este síndrome implica una disminución en el número de granulocitos, un tipo de glóbulo blanco. Esto puede conducir a una mayor susceptibilidad a infecciones bacterianas .

Síndrome de Insuficiencia Medular Global: Este síndrome se caracteriza por la falla de la médula ósea para producir suficientes células sanguíneas, lo que resulta en pancitopenia. Las causas pueden incluir enfermedades autoinmunes, infecciones y neoplasias .

Síndrome Adenopático: Este síndrome se refiere a la inflamación o agrandamiento de los ganglios linfáticos, lo que puede ser un signo de infección, inflamación o malignidad, como en el caso de linfomas .

Síndrome Esplenomegálico: Este síndrome se caracteriza por el agrandamiento del bazo, lo que puede ser causado por infecciones, enfermedades hepáticas o trastornos hematológicos .

Síndrome Disglobulinémico: Este síndrome está asociado con trastornos en las proteínas plasmáticas, como en el caso del mieloma múltiple, donde hay una proliferación anormal de células plasmáticas .

Síndrome Hemorrágico: Este síndrome se presenta con sangrados anormales debido a trastornos de la coagulación o disfunción plaquetaria. Puede ser consecuencia de enfermedades como la hemofilia o la trombocitopenia .

Síndrome Mielodisplástico: Es un grupo de trastornos causados por células madre hematopoyéticas defectuosas que resultan en una hematopoyesis ineficaz, llevando a citopenias. Los pacientes pueden desarrollar anemia, infecciones recurrentes y hemorragias.

Síndrome Mieloproliferativo Crónico: Incluye trastornos como la policitemia vera y la mielofibrosis primaria, donde hay una producción excesiva de una o más líneas celulares en la médula ósea .

Síndrome Linfoproliferativo Crónico: Este síndrome se refiere a la proliferación anormal y crónica de linfocitos, como en la leucemia linfocítica crónica (LLC) .

El estudio de la hematología es fundamental para entender una amplia gama de enfermedades que afectan a la sangre y sus componentes. Desde la anemia y la leucemia hasta los síndromes hematológicos más complejos, cada trastorno tiene un impacto significativo en la salud humana. El diagnóstico y tratamiento de estas condiciones requieren un conocimiento profundo de los mecanismos subyacentes y de las características clínicas específicas. Con el avance de la investigación médica, se continúan desarrollando nuevas estrategias para abordar estos desafíos, mejorando así las perspectivas para los pacientes afectados por estas enfermedades.

Vacunas

Las vacunas han sido uno de los avances médicos más importantes en la historia de la humanidad, desempeñando un papel crucial en la prevención de enfermedades infecciosas y en la mejora de la salud pública a nivel global.

Métodos de Obtención de Vacunas

Las vacunas pueden ser desarrolladas utilizando diferentes métodos, dependiendo de la naturaleza del patógeno y el tipo de respuesta inmune que se desea inducir en el organismo. Entre los métodos más comunes se encuentran

las vacunas avirulentas, vacunas inactivadas, antígenos purificados y las vacunas genéticas.

Vacunas avirulentas: Estas vacunas se preparan a partir de formas no peligrosas del microorganismo patógeno. Se utilizan variantes debilitadas o atenuadas del patógeno, las cuales son lo suficientemente similares al patógeno virulento como para estimular una respuesta inmunitaria, pero sin causar la enfermedad. Ejemplos incluyen las vacunas contra el sarampión, las paperas y la rubéola (MMR) .

Vacunas inactivadas: Estas vacunas se elaboran a partir de microorganismos muertos o inactivos. Al no estar vivos, no pueden replicarse en el organismo del vacunado, lo que hace que estas vacunas sean más seguras para personas con sistemas inmunitarios debilitados. Sin embargo, suelen requerir dosis adicionales para mantener la inmunidad. Ejemplos comunes incluyen las vacunas contra la polio (Salk), la hepatitis A y la rabia .

Antígenos purificados: En este método, se utilizan solo partes específicas del patógeno, como proteínas o polisacáridos, que son suficientes para inducir una respuesta inmunitaria. Este enfoque reduce el riesgo de efectos secundarios ya que no se introduce el microorganismo completo. Las vacunas conjugadas, como la del *Haemophilus influenzae* tipo b (Hib), son un ejemplo de esta estrategia .

Vacunas genéticas: Son una tecnología más reciente que implica la introducción de material genético (ADN o ARN) del patógeno en las células del organismo vacunado. Estas células luego producen las proteínas del patógeno, desencadenando una respuesta inmunitaria. Las vacunas de ARNm contra el COVID-19, como las desarrolladas por Pfizer-BioNTech y Moderna, son ejemplos de este tipo de vacuna. Este método tiene la ventaja de ser rápido en su desarrollo y producción .

Etimología y Origen de las Vacunas

El término "vacuna" proviene del latín "vacca," que significa "vaca." Este término fue acuñado por Edward Jenner en el siglo XVIII, cuando observó que las

ordeñadoras que contraían viruela vacuna, una enfermedad leve en vacas, no desarrollaban la viruela humana. Jenner inoculó material de una pústula de viruela vacuna en un niño, y luego lo expuso a la viruela humana. El niño no contrajo la enfermedad, lo que marcó el inicio de la vacunación como un método de prevención de enfermedades.

El concepto de inmunización existe desde hace siglos, pero fue con Jenner y su trabajo con la viruela cuando se desarrolló un enfoque sistemático y científico para la prevención de enfermedades infecciosas. La vacunación se expandió rápidamente a otras enfermedades, revolucionando la medicina preventiva.

Tipos de Vacunas

Las vacunas se pueden clasificar principalmente en dos categorías: vacunas vivas atenuadas y vacunas muertas o inactivadas.

Vacunas Vivas Atenuadas: Estas vacunas contienen microorganismos vivos que han sido atenuados o debilitados para que no causen la enfermedad en individuos con sistemas inmunológicos saludables. Las vacunas vivas atenuadas son potentes y suelen inducir una respuesta inmunitaria fuerte y duradera con solo una o dos dosis. Ejemplos de estas vacunas incluyen la MMR (sarampión, paperas y rubéola), la vacuna contra la varicela y la vacuna contra la fiebre amarilla .

Microorganismos Mutados: Los microorganismos utilizados en las vacunas vivas atenuadas son seleccionados o modificados mediante mutación para que pierdan su virulencia, pero mantengan su capacidad de multiplicarse y generar una respuesta inmunitaria protectora.

Larga Duración: Una de las ventajas de las vacunas vivas atenuadas es que, debido a la replicación del microorganismo en el cuerpo, la inmunidad que proporcionan tiende a ser de larga duración. Esto reduce la necesidad de refuerzos adicionales, aunque en algunos casos, como en la vacuna MMR, se administran dosis de refuerzo para asegurar la protección a largo plazo .

Vacunas Muertas o Inactivadas: Estas vacunas están compuestas por microorganismos que han sido inactivados o muertos, por lo que no pueden

causar la enfermedad. Son seguras incluso para personas con sistemas inmunológicos debilitados, pero generalmente requieren múltiples dosis o refuerzos para mantener la inmunidad. Ejemplos de estas vacunas incluyen las vacunas contra la hepatitis A, la polio (Salk) y la gripe.

Infecciones Respiratorias: Las vacunas inactivadas son especialmente útiles para la prevención de infecciones respiratorias. Por ejemplo, la vacuna contra la gripe, que es una vacuna inactivada, se administra anualmente debido a las variaciones en las cepas del virus de la influenza. Las vacunas inactivadas no solo ayudan a prevenir la enfermedad en individuos vacunados, sino que también reducen la transmisión del patógeno en la población, lo que es crucial en el control de epidemias .

Desarrollo y Evolución de las Vacunas

El desarrollo de las vacunas ha evolucionado significativamente desde las primeras inoculaciones de Jenner. En el siglo XX, las técnicas de cultivo celular permitieron el desarrollo de vacunas contra la poliomielitis, mientras que los avances en la biotecnología a finales del siglo XX y principios del XXI han dado lugar a vacunas recombinantes y de subunidades, como la vacuna contra el virus del papiloma humano (VPH) .

Las vacunas modernas no solo se desarrollan con el objetivo de prevenir enfermedades infecciosas, sino también con la visión de erradicar patógenos a nivel global. Un ejemplo notable de esto es la erradicación de la viruela en 1980, un logro histórico alcanzado gracias a la vacunación masiva y coordinada a nivel mundial .

Las vacunas han demostrado ser una herramienta esencial en la prevención de enfermedades infecciosas, salvando millones de vidas cada año. Desde las primeras observaciones de Jenner hasta las vacunas genéticas actuales, el campo de la vacunología ha evolucionado de manera impresionante, enfrentando nuevos desafíos como la pandemia de COVID-19. Los avances en la biotecnología y la inmunología prometen el desarrollo de vacunas más seguras y efectivas, con el potencial de controlar o incluso erradicar enfermedades en el futuro.

REFERENCIAS

- Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. (2018). Basic Immunology: Functions and Disorders of the Immune System (6th ed.). Elsevier.
- Agha, R. A., & Ogawa, R. (2010). Wound healing and the role of fibroblasts. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 63(4), 508-513.
- Agre, P., Preston, G. M., Smith, B. L., Jung, J. S., Raina, S., Moon, C., ... & Nielsen, S. (1988). Aquaporin CHIP: the archetypal molecular water channel. *American Journal of Physiology-Renal Physiology*, 265(4), F463-F476.
- Ahlquist, P. (2002). RNA-dependent RNA polymerases, viruses, and RNA silencing. *Science*, 296(5571), 1270-1273.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). *Molecular Biology of the Cell* (6th ed.). Garland Science.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). *Molecular Biology of the Cell* (6a ed.). Garland Science.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). *Molecular Biology of the Cell* (6a ed.). Garland Science.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). *Molecular Biology of the Cell* (6a ed.). Garland Science.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2020). *Molecular biology of the cell* (6th ed.). Garland Science.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). *Molecular Biology of the Cell* (6th ed.). Garland Science.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2002). *Molecular biology of the cell* (4th ed.). Garland Science.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2002). *Molecular biology of the cell* (4th ed.). Garland Science.

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2002). Molecular biology of the cell (4th ed.). Garland Science.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). Molecular biology of the cell (6th ed.). Garland Science.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). Molecular biology of the cell (6th ed.). Garland Science.
- Arber, D. A., & Orazi, A. (2016). The 2016 Revision to the World Health Organization Classification of Myeloid Neoplasms and Acute Leukemia. *Blood*, 127(20), 2391-2405.
- Ashcroft, F. M. (2000). Ion channels and disease. Academic Press.
- Bain, B. J. (2010). Blood Cells: A Practical Guide. Wiley-Blackwell.
- Bain, B. J. (2010). Blood Cells: A Practical Guide. Wiley-Blackwell.
- Baker, T. S., Olson, N. H., & Fuller, S. D. (1999). Adding the third dimension to virus life cycles: Three-dimensional reconstruction of icosahedral viruses from cryo-electron micrographs. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 63(4), 862-922.
- Baltimore, D. (1971). Expression of animal virus genomes. *Bacteriological Reviews*, 35(3), 235-241.
- Bandea, C. I. (1983). A new theory on the origin and the nature of viruses. *Journal of Theoretical Biology*, 105(4), 591-602.
- Barre-Sinoussi, F., Chermann, J. C., Rey, F., Nugeyre, M. T., Chamaret, S., Gruest, J., ... & Montagnier, L. (1983). Isolation of a T-lymphotropic retrovirus from a patient at risk for acquired immune deficiency syndrome (AIDS). *Science*, 220(4599), 868-871.
- Beaulieu, J. M., & Gainetdinov, R. R. (2011). The physiology, signaling, and pharmacology of dopamine receptors. *Pharmacological Reviews*, 63(1), 182-217.

- Bennett, M. V., & Zukin, R. S. (2004). Electrical coupling and neuronal synchronization in the mammalian brain. *Neuron*, 41(4), 495-511.
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Gatto Jr., G. J. (2019). *Biochemistry* (9th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2015). *Biochemistry* (8th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J., & Stryer, L. (2002). *Biochemistry* (5th ed.). W. H. Freeman and Company.
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J., & Stryer, L. (2015). *Bioquímica* (7a ed.). Editorial Reverte.
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J., & Stryer, L. (2015). *Bioquímica* (7a ed.). Editorial Reverte.
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J., & Stryer, L. (2015). *Bioquímica* (7a ed.). Editorial Reverte.
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J., & Stryer, L. (2015). *Bioquímica* (7a ed.). Editorial Reverte.
- Bhende, Y. M., Deshpande, C. K., Bhatia, H. M., Sanger, R., Race, R. R., Morgan, W. T. J., & Watkins, W. M. (1952). A "new" blood-group character related to the ABO and Lewis groups. *Lancet*, 1(6714), 903-904.
- Blankenship, R. E. (2014). *Molecular mechanisms of photosynthesis* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Blankenship, R. E. (2014). *Molecular mechanisms of photosynthesis* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Borregaard, N. (2010). Neutrophils, from marrow to microbes. *Immunity*, 33(5), 657-670.
- Borrel, A. (1904). Les lésions histologiques des centres nerveux dans la rage. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 139(5), 132-135.

- Bowen, M. D., Peters, C. J., & Nichol, S. T. (1997). The phylogeny of New World (Tacaribe complex) arenaviruses. *Virology*, 232(1), 134-143.
- Bowman, J. M. (2006). The prevention of Rh immunization. *Transfusion Medicine Reviews*, 20(1), 79-84.
- Brauburger, K., Hume, A. J., Mühlberger, E., & Olejnik, J. (2012). Forty-five years of Marburg virus research. *Viruses*, 4(10), 1878-1927.
- Brock, T. D., Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2020). *Biology of microorganisms* (15th ed.). Pearson.
- Brock, T. D., Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2020). *Biology of microorganisms* (15th ed.). Pearson.
- Brock, T. D., Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2020). *Biology of microorganisms* (15th ed.). Pearson.
- Brock, T. D., Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2020). *Biology of microorganisms* (15th ed.). Pearson.
- Buchanan, B. B., Gruissem, W., & Jones, R. L. (2015). *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Biologists.
- Burton, P. A., Brown, K. J., & Lane, D. P. (2002). Helical viruses: molecular architecture and assembly. *Advances in Virus Research*, 57, 93-137.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2017). *Biology* (11th ed.). Pearson.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention). (2021). Marburg Hemorrhagic Fever. Recuperado de <https://www.cdc.gov/vhf/marburg/index.html>
- Claverie, J. M. (2006). Viruses take center stage in cellular evolution. *Genome Biology*, 7(6), 110.
- Connors, B. W., & Long, M. A. (2004). Electrical synapses in the mammalian brain. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 393-418.

- Cowan, S. T. (2000). Cowan and Steel's manual for the identification of medical bacteria. Cambridge University Press.
- d'Hérelle, F. (1917). Sur un microbe invisible antagoniste des bacilles dysentériques. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 165(6), 373-375.
- Dale, D. C. (2017). Neutropenia in Primary Care: Evaluation and Management. *American Family Physician*, 95(9), 558-568.
- Danielli, J. F., & Davson, H. (1935). A contribution to the theory of permeability of thin films. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 5(4), 495-508.
- Daniels, G. (2013). Human Blood Groups. Wiley-Blackwell.
- Daniels, G. (2013). Human Blood Groups. Wiley-Blackwell.
- Daniels, G. (2013). Human Blood Groups. Wiley-Blackwell.
- Daniels, M. J., & Stamler, J. S. (2006). Oxygen sensing by nitric oxide and the regulation of cell death and differentiation in cancer and stem cells. *The Journal of Clinical Investigation*, 116(6), 1491-1497.
- Davson, H., & Danielli, J. F. (1935). A contribution to the theory of permeability of thin films. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 5(4), 495-508.
- Dawson, H., & Danielli, J. F. (1952). The properties and functions of thin membranes. Pergamon Press.
- Dulbecco, R., & Vogt, M. (1952). Plaque formation and isolation of pure lines with poliomyelitis viruses. *The Journal of Experimental Medicine*, 99(2), 167-182.
- Ehrlich, H. P. (2007). Collagen organization in wound repair. *Wound Repair and Regeneration*, 15(6), 656-663.
- Elford, W. J. (1933). The size of viruses. *British Medical Bulletin*, 1(5), 81-84.

- Emerson, D., Moyer, C. L., & Davis, R. E. (2007). The genus Gallionella. In E. Rosenberg, E. F. DeLong, S. Lory, E. Stackebrandt, & F. Thompson (Eds.), *The Prokaryotes: Vol. 4* (pp. 369-387). Springer.
- Enders, J. F., Weller, T. H., & Robbins, F. C. (1949). Cultivation of the Lansing strain of poliomyelitis virus in cultures of various human embryonic tissues. *Science*, 109(2822), 85-87.
- Fauser, A. A., & Messmer, B. J. (2016). *Hematology: Theories and Clinical Aspects*. Springer.
- Feldmann, H., & Geisbert, T. W. (2011). Ebola haemorrhagic fever. *The Lancet*, 377(9768), 849-862.
- Fenner, F., Henderson, D. A., Arita, I., Jezek, Z., & Ladnyi, I. D. (1988). *Smallpox and its eradication*. World Health Organization.
- Fields, B. N., Knipe, D. M., & Howley, P. M. (2007). *Fields Virology* (5th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Flint, S. J., Enquist, L. W., Racaniello, V. R., & Skalka, A. M. (2015). *Principles of Virology* (4th ed.). ASM Press.
- Flint, S. J., Enquist, L. W., Racaniello, V. R., & Skalka, A. M. (2015). *Principles of Virology* (4th ed.). ASM Press.
- Fokine, A., & Rossmann, M. G. (2014). Molecular architecture of tailed double-stranded DNA phages. *Bacteriophage*, 4(1), e28281.
- Forterre, P. (2006). The origin of viruses and their possible roles in major evolutionary transitions. *Virus Research*, 117(1), 5-16.
- Forterre, P. (2006). The origin of viruses and their possible roles in major evolutionary transitions. *Virus Research*, 117(1), 5-16.
- Forterre, P. (2010). Giant viruses: conflicts in revisiting the virus concept. *Intervirology*, 53(5), 362-378.

- Fukuda, M. (2002). Cell surface carbohydrates and cell-cell recognition. *Current Opinion in Structural Biology*, 12(5), 551-557.
- Furie, B., & Furie, B. C. (2008). Mechanisms of thrombus formation. *New England Journal of Medicine*, 359(9), 938-949.
- Gaw, A., Murphy, M. J., Cowan, R. A., & O'Reilly, D. S. (2013). *Clinical Biochemistry: An Illustrated Colour Text*. Elsevier Health Sciences.
- Ginhoux, F., & Jung, S. (2014). Monocytes and macrophages: Developmental pathways and tissue homeostasis. *Nature Reviews Immunology*, 14(6), 392-404.
- Global Polio Eradication Initiative. (2021). Polio Today. Recuperado de <https://polioeradication.org>
- Godfrey, D. I., MacDonald, H. R., Kronenberg, M., Smyth, M. J., & Van Kaer, L. (2010). NKT cells: what's in a name? *Nature Reviews Immunology*, 4(3), 231-237.
- Goeijenbier, M., van Kampen, J. J., Reusken, C. B., Koopmans, M. P., & van Gorp, E. C. (2014). Ebola virus disease: a review on epidemiology, symptoms, treatment and pathogenesis. *Netherlands Journal of Medicine*, 72(9), 442-448.
- Goldman, J. M., & Melo, J. V. (2013). Chronic Myeloid Leukemia—Advances in Biology and New Approaches to Treatment. *The New England Journal of Medicine*, 369(19), 1783-1796.
- Goodpasture, E. W., & Woodruff, A. M. (1931). The preparation of vaccines from the viruses of fowlpox and mammalian influenza. *American Journal of Pathology*, 7(3), 289-299.
- Gordon, S., & Taylor, P. R. (2005). Monocyte and macrophage heterogeneity. *Nature Reviews Immunology*, 5(12), 953-964.
- Gorter, E., & Grendel, F. (1925). On bimolecular layers of lipoids on the chromocytes of the blood. *Journal of Experimental Medicine*, 41(4), 439-443.

- Gurtner, G. C., Werner, J. J., Barrandon, Y., & Longaker, M. T. (2008). Wound repair and regeneration. *Nature*, 453(7193), 314-321.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2016). *Textbook of Medical Physiology*. Elsevier Health Sciences.
- Hall, J. E. (2016). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. Elsevier.
- Hall, J. E. (2016). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. Elsevier.
- Harris, D., Smith, A., & Krupinska, K. (2019). Plastids: Essential organelles for photosynthesis and beyond. *Annual Review of Plant Biology*, 70(1), 279-308.
- Harvey, R. A., Champe, P. C., & Ferrier, D. R. (2012). *Lippincott's Illustrated Reviews: Microbiology* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Harvey, R. A., Champe, P. C., & Ferrier, D. R. (2012). *Lippincott's Illustrated Reviews: Microbiology* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Harvey, R. A., Champe, P. C., & Ferrier, D. R. (2012). *Lippincott's Illustrated Reviews: Microbiology* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Henao-Restrepo, A. M., Longini, I. M., Egger, M., Dean, N. E., Edmunds, W. J., Camacho, A., ... & Kieny, M. P. (2016). Efficacy and effectiveness of an rVSV-vectored vaccine in preventing Ebola virus disease: final results from the Guinea ring vaccination, open-label, cluster-randomised trial (Ebola Ça Suffit!). *The Lancet*, 389(10068), 505-518.
- Hille, B. (2001). *Ion channels of excitable membranes* (3rd ed.). Sinauer Associates.
- Hille, B. (2001). *Ion channels of excitable membranes* (3rd ed.). Sinauer Associates.
- Hirst, G. K. (1941). The agglutination of red cells by allantoic fluid of chick embryos infected with influenza virus. *Science*, 94(2448), 22-23.

- Hodgkin, A. L., & Huxley, A. F. (1952). A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *The Journal of Physiology*, 117(4), 500-544.
- Hooke, R. (1665). *Micrographia*. Royal Society of London.
- Houghton, J. D. (2020). *Biochemistry and Molecular Biology*. Springer.
- ICTV (International Committee on Taxonomy of Viruses). (2020). *Virus Taxonomy: 2019 Release*. <https://talk.ictvonline.org/taxonomy/>
- Iwanowsky, D. (1892). Concerning the Mosaic Disease of the Tobacco Plant. *Botanicheskii Zhurnal*, 17(1), 154-156.
- Janeway, C. A., Travers, P., Walport, M., & Shlomchik, M. J. (2001). *Immunobiology: The immune system in health and disease* (5th ed.). Garland Science.
- Janeway, C. A., Travers, P., Walport, M., & Shlomchik, M. J. (2001). *Immunobiology: The immune system in health and disease* (5th ed.). Garland Science.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2013). *Principles of neural science*. McGraw-Hill.
- Kassebaum, N. J., & collaborators. (2016). Global, Regional, and National Burden of Anemia and Its Causes in 204 Countries and Territories. *The Lancet Haematology*, 3(11), e583-e591.
- Katz, B. (2003). *Neurotransmission and neuromodulation: Basic principles*. Cambridge University Press.
- Kavanau, W. L. (1965). The behavior of membrane lipids at low temperatures. *Journal of Cell Biology*, 27(1), 117-126.
- Knipe, D. M., & Howley, P. M. (Eds.). (2013). *Fields Virology* (6th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Knipe, D. M., & Howley, P. M. (Eds.). (2013). *Fields Virology* (6th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

- Knoll, A. H. (2015). Life on a young planet: The first three billion years of evolution on Earth (2nd ed.). Princeton University Press.
- Koonin, E. V. (2015). The logic of chance: The nature and origin of biological evolution. FT Press.
- Koonin, E. V., & Martin, W. (2005). On the origin of genomes and cells within inorganic compartments. *Trends in Genetics*, 21(12), 647-654.
- Koonin, E. V., Senkevich, T. G., & Dolja, V. V. (2006). The ancient Virus World and evolution of cells. *Biology Direct*, 1(1), 29.
- Koonin, E. V., Senkevich, T. G., & Dolja, V. V. (2006). The ancient Virus World and evolution of cells. *Biology Direct*, 1(1), 29.
- Landsteiner, K. (1901). Über Agglutinationserscheinungen normalen menschlichen Blutes. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 14, 1132-1134.
- Lau, L. M., Bidinotto, R. S., & Siu, P. M. (2020). Matrix metalloproteinases in wound healing: A comprehensive review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(9), 3262.
- Levenson, S. M., Geever, E. F., Crowley, T. A., Oates, T., & Berard, C. W. (1965). Collagen metabolism during wound healing. *Archives of Surgery*, 90(5), 1043-1050.
- Levy, J. A. (2007). HIV and the pathogenesis of AIDS. ASM Press.
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., & Scott, M. P. (2000). Molecular cell biology (4th ed.). W. H. Freeman and Company.
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., & Scott, M. P. (2000). Molecular cell biology (4th ed.). W. H. Freeman and Company.
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., & Scott, M. P. (2000). Molecular cell biology (4th ed.). W. H. Freeman and Company.

- Lodish, H., Berk, A., Zipursky, S. L., et al. (2016). Molecular cell biology (8th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Lodish, H., Berk, A., Zipursky, S. L., et al. (2016). Molecular cell biology (8th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Loeffler, F., & Frosch, P. (1898). Summary report of the investigations regarding the foot-and-mouth disease. *Berliner Tierarztliche Wochenschrift*, 14, 117-121.
- Lowy, F. D. (2003). Staphylococcus aureus infections. *New England Journal of Medicine*, 348(13), 1271-1275.
- Lucy, J. S., & Glubert, C. (1964). Studies on the cell membrane. *Journal of Cell Biology*, 20(1), 9-15.
- Luria, S. E., & Darnell, J. E. (1962). *General virology* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Machlus, K. R., & Italiano, J. E. (2013). The incredible journey: From megakaryocyte development to platelet formation. *Journal of Cell Biology*, 201(6), 785-796.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2018). *Brock Biology of Microorganisms* (15th ed.). Pearson.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2018). *Brock Biology of Microorganisms* (15th ed.). Pearson.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2018). *Brock Biology of Microorganisms* (15th ed.). Pearson.
- Marin, K., Higdon, A., & Depew, M. (2020). The role of plastids in plant pigmentation. *Plant Physiology*, 184(2), 891-899.
- Martin, P. (1997). Wound healing--aiming for perfect skin regeneration. *Science*, 276(5309), 75-81.

- McCormick, J. B., Webb, P. A., Krebs, J. W., Johnson, K. M., & Smith, E. S. (1987). A prospective study of the epidemiology and ecology of Lassa fever. *Journal of Infectious Diseases*, 155(3), 437-444.
- McMullin, M. F., & Harrison, C. N. (2017). Management of Polycythemia Vera: Insights and Best Practices. *Therapeutic Advances in Hematology*, 8(1), 22-36.
- Medzhitov, R. (2007). Recognition of microorganisms and activation of the immune response. *Nature*, 449(7164), 819-826.
- Mereschkowsky, C. (1905). Über Natur und Ursprung der Chromatophoren im Pflanzenreiche. *Biologisches Centralblatt*, 25, 593-604.
- Miescher, F. (1869). Ueber die chemische Zusammensetzung der Eiterzellen. *Medizinisch-Chemische Untersuchungen*, 4, 441-460.
- Mollison, P. L., Engelfriet, C. P., & Contreras, M. (2005). *Blood Transfusion in Clinical Medicine*. Blackwell Publishing.
- Mollison, P. L., Engelfriet, C. P., & Contreras, M. (2005). *Blood Transfusion in Clinical Medicine*. Blackwell Publishing.
- Mosmann, T. R., & Coffman, R. L. (1989). TH1 and TH2 cells: Different patterns of lymphokine secretion lead to different functional properties. *Annual Review of Immunology*, 7(1), 145-173.
- Moss, B. (2007). Poxviridae: The viruses and their replication. In *Fields Virology* (5th ed.), Lippincott Williams & Wilkins.
- Murphy, K. (2012). *Janeway's Immunobiology*. Garland Science.
- Murphy, K., & Weaver, C. (2016). *Janeway's immunobiology* (9th ed.). Garland Science.
- Murphy, K., & Weaver, C. (2016). *Janeway's immunobiology* (9th ed.). Garland Science.

- Murray, R. K., Bender, D. A., Botham, K. M., Kennelly, P. J., & Rodwell, V. W. (2015). *Harper's illustrated biochemistry* (30th ed.). McGraw-Hill Education.
- Nachamkin, I. (2002). *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli*. In P. M. V. M. (Ed.), *Manual of Clinical Microbiology* (pp. 118-129). American Society for Microbiology.
- Nathan, C. (2006). Neutrophils and immunity: Challenges and opportunities. *Nature Reviews Immunology*, 6(3), 173-182.
- Nathanson, N., & Kew, O. M. (2010). From emergence to eradication: the epidemiology of poliomyelitis deconstructed. *American Journal of Epidemiology*, 172(11), 1213-1229.
- Nedelec, B., & Schopflocher, D. (2008). The management of hypertrophic scars and keloids. *International Journal of Dermatology*, 47(7), 722-728.
- Needham, J. (1980). *Science and civilization in China: Volume 6, Biology and biological technology, Part VI: Medicine*. Cambridge University Press.
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). *Lehninger principles of biochemistry* (7th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). *Lehninger Principles of Biochemistry* (7th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Nelson, D. L., Cox, M. M. (2017). *Lehninger Principios de Bioquímica* (7a ed.). Editorial Omega.
- Nelson, D. L., Cox, M. M. (2017). *Lehninger Principios de Bioquímica* (7a ed.). Editorial Omega.
- Nurden, A. T. (2011). Platelets, inflammation and tissue regeneration. *Thrombosis and Haemostasis*, 105(Suppl 1), S13-S33.
- Nutton, V. (2004). *Ancient medicine*. Routledge.
- Ochman, H., Lawrence, J. G., & Groisman, E. A. (2000). Lateral gene transfer and the nature of bacterial innovation. *Nature*, 405(6784), 299-304.

- Offit, P. A. (2011). *Vaccinated: One Man's Quest to Defeat the World's Deadliest Diseases*. Smithsonian Books.
- Oppenheim, A. B., Kobilier, O., Stavans, J., Court, D. L., & Adhya, S. (2005). Switches in bacteriophage lambda development. *Annual Review of Genetics*, 39, 409-429.
- Overton, C. (1902). The permeability of cell membranes. *Journal of Physiology*, 28(2), 173-187.
- Parham, P. (2014). *The Immune System* (4th ed.). Garland Science.
- Parker, R. F., & Nye, R. N. (1925). The successful transmission of vaccinia virus to embryonic cells in vitro. *Journal of Experimental Medicine*, 42(1), 53-67.
- Paul, J. R. (1971). *A history of poliomyelitis*. Yale University Press.
- Pereda, A. E. (2014). Electrical synapses and their functional interactions with chemical synapses. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(4), 250-263.
- Perutz, M. F. (1970). Stereochemistry of cooperative effects in haemoglobin: Haem-haem interaction and the problem of allostery. *Nature*, 228(5273), 726-739.
- Peyvandi, F., Garagiola, I., & Young, G. (2016). The Past and Future of Haemophilia: Diagnosis, Treatments, and Its Complications. *Lancet*, 388(10040), 187-197.
- Plotkin, S. A., Orenstein, W. A., & Offit, P. A. (2017). *Vaccines* (7th ed.). Elsevier.
- Poland, G. A., & Jacobson, R. M. (2012). The age-old struggle against the antivaccinationists. *New England Journal of Medicine*, 364(2), 97-99.
- Ponka, P. (1997). Tissue-specific regulation of iron metabolism and heme synthesis: Distinct control mechanisms in erythroid cells. *Blood*, 89(1), 1-25.
- Prosser, J. I. (2010). The physiology and biochemistry of nitrifying bacteria. In E. F. DeLong (Ed.), *The Prokaryotes* (pp. 179-194). Springer.

- Ptashne, M. (2004). *A Genetic Switch: Phage Lambda Revisited*. Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Quincke, G. (1888). Untersuchungen über die Strömung in viskosen Flüssigkeiten. *Annalen der Physik*, 55(1), 88-133.
- Racaniello, V. R. (2006). One hundred years of poliovirus pathogenesis. *Virology*, 344(1), 9-16.
- Raoult, D., & Forterre, P. (2008). Redefining viruses: lessons from Mimivirus. *Nature Reviews Microbiology*, 6(4), 315-319.
- Rappuoli, R., Mandl, C. W., Black, S., & De Gregorio, E. (2011). Vaccines for the twenty-first century society. *Nature Reviews Immunology*, 11(12), 865-872.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2013). *Biology of Plants* (8th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2019). *Biology of plants* (8th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Reed, W., Carroll, J., & Agramonte, A. (1901). The etiology of yellow fever: A preliminary note. *Public Health Papers and Reports*, 26, 37-53.
- Richmond, J. K., & Baglole, D. J. (2003). Lassa fever: epidemiology, clinical features, and social consequences. *BMJ*, 327(7426), 1271-1275.
- Robertson, J. D. (1960). The unit membrane concept and its application to cell membranes. *Journal of Biophysical and Biochemical Cytology*, 7(3), 387-403.
- Rodak, B. F. (2016). *Hematology: Clinical Principles and Applications*. Elsevier Health Sciences.
- Roizman, B., Whitley, R. J., & Lopez, C. (2007). The human herpesviruses: A perspective on their role in human disease. In *Fields Virology* (5th ed.), Lippincott Williams & Wilkins.

- Rosenberg, H. F. (2013). Eosinophils: Changing perspectives in health and disease. *Nature Reviews Immunology*, 13(1), 9-22.
- Rothenberg, M. E., & Hogan, S. P. (2006). The eosinophil. *Annual Review of Immunology*, 24(1), 147-174.
- Ruggeri, Z. M. (2002). Platelets in atherothrombosis. *Nature Medicine*, 8(11), 1227-1234.
- Rybicki, E. P. (1990). The classification of organisms at the edge of life, or problems with virus systematics. *South African Journal of Science*, 86(4), 182-186.
- Sakaguchi, S., Yamaguchi, T., Nomura, T., & Ono, M. (2008). Regulatory T cells and immune tolerance. *Cell*, 133(5), 775-787.
- Sallusto, F., Lenig, D., Förster, R., Lipp, M., & Lanzavecchia, A. (1999). Two subsets of memory T lymphocytes with distinct homing potentials and effector functions. *Nature*, 401(6754), 708-712.
- Scharffetter-Kochanek, K., Docheva, D., Langer, H., & Männel, D. (2018). Wound healing in skin: A crucial interplay between cellular and molecular components. *European Journal of Dermatology*, 28(4), 493-507.
- Schopf, J. W. (2006). Fossil evidence of Archaean life. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361(1470), 869-885.
- Siegert, R., Shu, H. L., Slenczka, W., Peters, D., & Muller, G. (1967). Marburg virus disease. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 61(6), 620-622.
- Silhavy, T. J., Kahne, D., & Walker, S. (2010). The bacterial cell envelope. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2(5), a000414.
- Singer, S. J., & Nicolson, G. L. (1972). The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. *Science*, 175(4023), 720-731.

- Singer, S. J., & Nicolson, G. L. (1972). The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. *Science*, 175(4023), 720-731.
- Singer, S. J., & Nicolson, G. L. (1972). The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. *Science*, 175(4023), 720-731.
- Sokurenko, E. V., Chesnokova, V., Chesnokov, A., & Hasty, D. L. (1998). Fimbrial adhesin of *Escherichia coli* binds to the uroplakin receptor of the urinary tract. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(24), 13927-13932.
- Sorg, H., Tilkorn, D. J., Hager, S., Hauser, J., & Mirastschijski, U. (2017). Skin wound healing: An update on the current knowledge and concepts. *European Surgical Research*, 58(1-2), 81-94.
- Spivak, J. L. (2017). Polycythemia Vera. *The New England Journal of Medicine*, 377(1), 95-96.
- Stal, L. J. (2012). Cyanobacterial mats and stromatolites. In B. Whitton (Ed.), *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time* (pp. 65-125). Springer.
- Stanberry, L. R. (2012). Vaccines for biodefense and emerging and neglected diseases. Elsevier.
- Stanley, M. (2010). Prophylactic HPV vaccines: Underlying mechanisms. *Vaccine*, 28(26), 4487-4490.
- Stanley, W. M. (1935). Isolation of a crystalline protein possessing the properties of tobacco-mosaic virus. *Science*, 81(2113), 644-645.
- Stone, K. D., Prussin, C., & Metcalfe, D. D. (2010). IgE, mast cells, basophils, and eosinophils. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 125(2 Suppl 2), S73-S80.
- Südhof, T. C. (2012). The presynaptic active zone. *Neuron*, 75(1), 11-25.

- Sullivan, N., Yang, Z. Y., & Nabel, G. J. (2003). Ebola virus pathogenesis: implications for vaccines and therapies. *Journal of Virology*, 77(18), 9733-9737.
- Swerdlow, S. H., Campo, E., & Harris, N. L. (2016). WHO Classification of Tumours of Haematopoietic and Lymphoid Tissues. International Agency for Research on Cancer.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5a ed.). Sinauer Associates.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5a ed.). Sinauer Associates.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2018). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Tandara, A. A., & Mustoe, T. A. (2010). Advances in wound healing: An overview. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 125(5), 291-297.
- Thanassi, D. G., Bliska, J. B., & Christie, P. J. (2012). Surface organelles assembled by secretion systems of Gram-negative bacteria: diversity in structure and function. *FEMS Microbiology Reviews*, 36(6), 1046-1082.
- Tonnesen, M. G., Feng, X., & Clark, R. A. (2000). Angiogenesis in wound healing. *Journal of Investigative Dermatology*, 115(3), 575-582.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2016). *Microbiology: An introduction* (12th ed.). Pearson.
- Traynelis, S. F., Wollmuth, L. P., McBain, C. J., Menniti, F. S., Vance, K. M., Ogden, K. K., ... & Dingledine, R. (2010). Glutamate receptor ion channels: Structure, regulation, and function. *Pharmacological Reviews*, 62(3), 405-496.
- Twort, F. W. (1915). An investigation on the nature of ultra-microscopic viruses. *The Lancet*, 186(4814), 1241-1243.
- UNAIDS (Joint United Nations Programme on HIV/AIDS). (2020). Global HIV & AIDS statistics — 2020 fact sheet. Recuperado de <https://www.unaids.org>

- Valent, P., et al. (2012). Basophils and mast cells: A functional linkage of immune responses with human allergic disorders and pathophysiology of non-allergic diseases. *Critical Reviews in Immunology*, 32(3), 225-260.
- Voet, D., Voet, J. G., & Pratt, C. W. (2016). *Fundamentals of Biochemistry: Life at the Molecular Level* (5th ed.). Wiley.
- Vollmer, W., Blanot, D., & de Pedro, M. A. (2008). Peptidoglycan structure and architecture. *FEMS Microbiology Reviews*, 32(2), 149-167.
- Wagner, E. K., & Hewlett, M. J. (2014). *Basic Virology* (3rd ed.). Wiley-Blackwell.
- Wang, X. (2018). Neutrophil function and regulation in wound healing. *Journal of Immunology Research*, 2018, 8105484.
- Weiss, R. A. (2018). HIV and AIDS: From First Known Case to Global Pandemic. *Nature Reviews Microbiology*, 16(4), 210-218.
- Weller, S., & Bennett, K. (2011). Immunology and Vaccination: From Jenner to Genetic Vaccines. *Vaccine*, 29(22), 3755-3761.
- WHO (World Health Organization). (2020). Marburg virus disease. Recuperado de <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/marburg-virus-disease>
- Wigginton, K. R., & Kohn, T. (2012). Virus disinfection mechanisms: the role of virus composition, structure, and function. *Current Opinion in Virology*, 2(1), 84-89.
- Wilgus, T. A., & Roy, S. (2013). The role of inflammation in the development of chronic wounds. *Journal of Surgical Research*, 182(2), 476-483.
- Woese, C. R., & Fox, G. E. (1977). Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 74(11), 5088-5090.
- Woods, G. L. (2012). *Mycobacterium tuberculosis* and the development of tuberculosis. In P. M. V. M. (Ed.), *Manual of Clinical Microbiology* (pp. 1084-1090). American Society for Microbiology.

- World Health Organization. (1980). The global eradication of smallpox. *Weekly Epidemiological Record*, 55(19), 148-149.
- Wynn, T. A., & Vannella, K. M. (2016). Macrophages in tissue repair, regeneration, and fibrosis. *Immunity*, 44(3), 450-462.
- Zinkernagel, R. M., & Doherty, P. C. (1974). Immunological surveillance against altered self components by sensitized T lymphocytes in lymphocytic choriomeningitis. *Nature*, 251(5475), 547-548.
- Zipursky, A. (2003). The pathogenesis and prevention of Rh immunization. *Canadian Medical Association Journal*, 169(4), 335-340.

PARA CITAR EL LIBRO

Hurtado Ibarra, E., Henao Orozco, C. C., Arrieta Ruiz, J. C. & Velastegui Lopez, L. E. (2025). BIOLOGIA GENERAL Recuperado desde:
<http://libros.cienciadigital.org/index.php/CienciaDigitalEditorial/catalog/book/29>



Las opiniones expresadas por los autores no reflejan la postura del editor de la obra. El libro es de creación original de los autores, por lo que esta editorial se deslinda de cualquier situación legal derivada por plagios, copias parciales o totales de otras obras ya publicados y la responsabilidad legal recaerá directamente en los autores del libro.

El libro queda en propiedad de la editorial y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la Editorial Ciencia Digital.

CORREOS Y CÓDIGOS ORCID

 Edinson Hurtado Ibarra

 <https://orcid.org/>

 edhur59@hotmail.com

 Clemencia Cristina Henao Orozco

 <https://orcid.org/>

 henaoclemencia06@gmail.com

 Juan Carlos Arrieta Ruiz

 <https://orcid.org/>

 juanarrieta@mail.uniatlantico.edu.co

 Luis Efraín Velastegui López

 <https://orcid.org/0000-0002-7353-5853>

 le.velastegui@uta.edu.ec

ISBN: 978-9942-7373-4-2





ISBN: 978-9942-7373-4-2



9 789942 737342