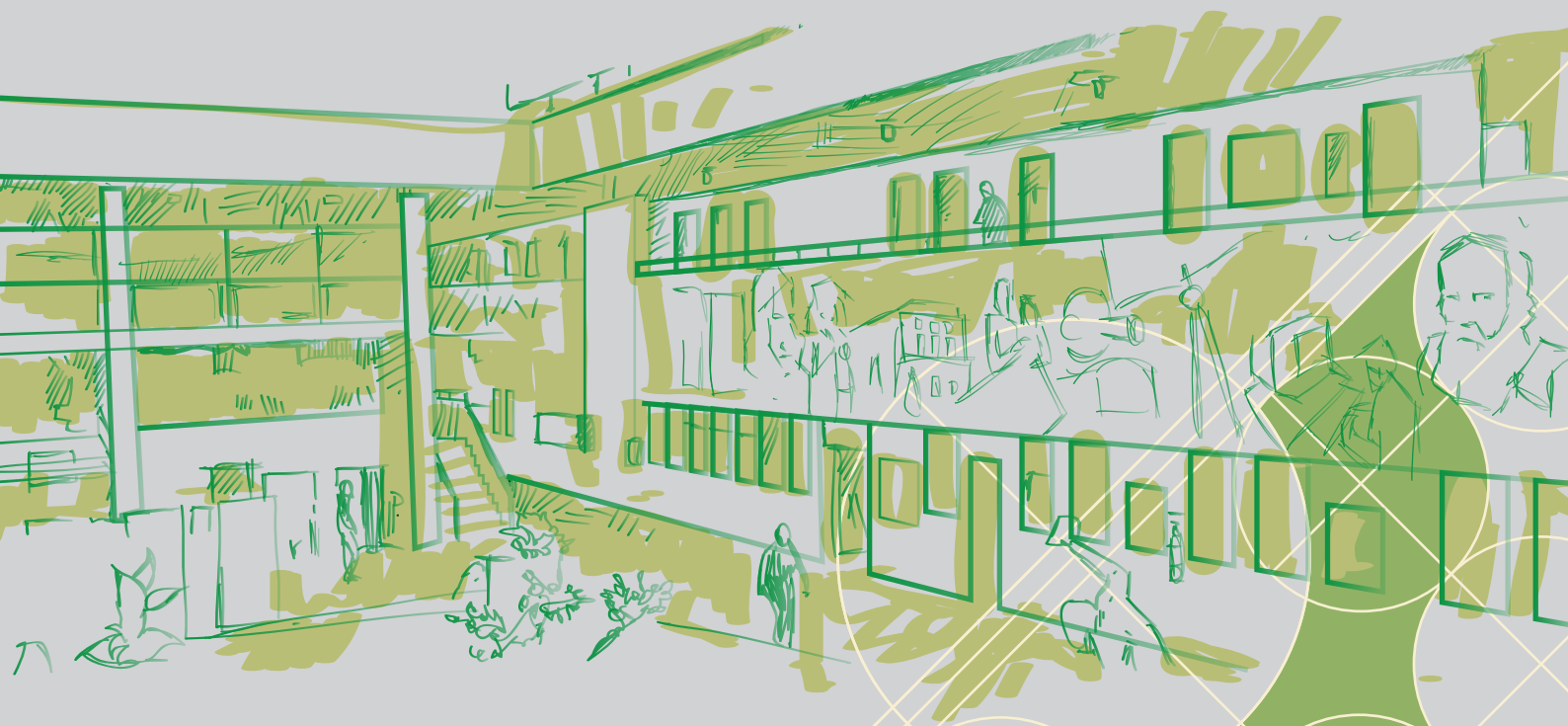


Universidad Nacional de Córdoba  
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
Departamento Ingreso

CICLO DE INTRODUCCIÓN A LOS ESTUDIOS UNIVERSITARIOS

# BIOLOGÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO INGRESO  
CICLO DE INTRODUCCIÓN A LOS ESTUDIOS UNIVERSITARIOS  
BIOLOGÍA

**Diseño y diagramación:**

Sebastián Prevotel / Lucía Navarro  
sebastianprevotel@gmail.com



## **Autoridades de la FCEfyN**

### **Decano**

Mg. Ing. Pablo Recabarren

### **Vice-Decana**

Mg. Ing. Adriana Cerato

### **Secretario General**

Ing. Daniel Lago

### **Secretaría Académica (Área Ingeniería)**

Dra. Inga. Magalí Evelín Carro Pérez

### **Secretaría Académica (Área Biología)**

Bióloga Analía González

### **Secretaría Académica (Área Geología)**

Geólogo Raúl Paredes

### **Secretaría Académica de Investigación y Post-Grado (Área Ingeniería)**

Dr. Ing. Federico Pinto

### **Secretaría Académica de Investigación y Post-Grado (Área Ciencias Naturales)**

Dra. Marcela Cioccale

### **Secretaría de Extensión**

Ing. Luis Antonio Bosch

### **Secretaría Técnica**

Ing. Julio Alfredo Capdevila Aliaga

### **Secretaría Administrativa**

Sr. Ángel H. Giménez

### **Secretaría de Bienestar Estudiantil**

Ing. Oscar Alberto Cáceres

### **Prosecretaría Académica Área Ingeniería**

Ing. Lisandro A. Capdevila

### **Prosecretaría de Concursos**

Ing. Germán Naldini

## INFORMACIÓN IMPRESCINDIBLE CINEU

TODA LA INFORMACIÓN DEL INGRESO LA PUEDE ENCONTRAR EN LA PÁGINA WEB DE LA FACULTAD <http://www.portal.efn.uncor.edu/> en la sección INGRESANTES.

Es IMPRESCINDIBLE que lea TODOS los archivos que figuran allí. Los exámenes de Biología se rinden de manera virtual, a excepción del examen final que será de manera presencial y deberá llevar documento oficial que acredite fehacientemente su identidad, con foto, y los elementos necesarios para realizar la evaluación (lapicera azul o negra y hojas). En una pizarra dispuesta a la entrada del edificio estará publicada el aula que le corresponde por carrera. Habrá personal para indicarle su ubicación. La duración del examen es de una hora y media y al finalizar se le informará cuándo estarán las calificaciones obtenidas en los avisadores de Ingreso y el día y hora en que usted podrá revisar su examen. Recuerde que para aprobar el examen final de Biología del Ciclo de Nivelación es necesario alcanzar un 60% del puntaje total asignado a la evaluación. Las calificaciones posibles serán Aprobado o No aprobado. Si no aprobara el examen en diciembre, recuerde que deberá reinscribirse durante ese mismo mes (consultar las fechas en la página web de la facultad) para poder cursar Biología en la modalidad presencial.

Recuerde que para ingresar al **Laboratorio de Educación Virtual (LEV)**, utilizara tanto para su usuario como su contraseña su DNI (en caso de error de contraseña recupere la misma).

Recuerden que el e-mail que usted cargó en el sistema Guaraní cuando se inscribió, será a donde le lleguen las notas del CINEU y mensajes varios del LEV, por lo que debe de mantenerlo actualizado.

¡Esperamos contarlo entre nuestros alumnos!

# ÍNDICE

<b>PROGRAMA ANALITICO</b>	<b>8</b>		
Unidad 1. La Biología y sus disciplinas.	8		
Unidad 2. Los componentes químicos de los seres vivos.	8		
Unidad 3. Célula.	8		
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>9</b>		
<b>Unidad 1 / La Biología y sus disciplinas</b>	<b>11</b>		
El tránsito desde la Ciencia básica a la Tecnología: la Biología como modelo	13		
Bibliografía	23		
ACTIVIDADES	24		
<b>UNIDAD 2 / Composición química de los seres vivos</b>	<b>31</b>		
Introducción	33		
Agua	34		
El agua: puentes de hidrógeno, cohesión molecular y propiedades del agua	34		
Capacidad disolvente del agua: sustancias hidrofóbicas, hidrofílicas y anfipáticas	38		
Concentración	39		
Disociación del agua y Potencial de Hidrógeno (pH)	40		
Ácidos y Bases	41		
Buffers o amortiguadores del pH	42		
Compuestos orgánicos: generalidades	42		
Glúcidos o hidratos de carbono	46		
Definición y origen	46		
Clasificación	47		
Monosacáridos	47		
Oligosacáridos	47		
Polisacáridos	48		
Lípidos	49		
Definición	49		
Ácidos grasos	49		
Fosfolípidos y Glucolípidos	50		
Proteínas	51		
Definición	51		
Aminoácidos	51		
Péptidos	54		
Niveles estructurales de las proteínas	54		
Desnaturalización	56		
Funciones de las proteínas	56		
Enzimas	56		
ACTIVIDADES	58		
<b>UNIDAD 3 / Célula</b>	<b>61</b>		
Introducción al estudio de la célula	63		
Teoría celular	63		
Características de las células	63		
Microscopios	65		
Modelos celulares	66		
Estructura de una célula animal	67		
Membrana plasmática	68		
Citoplasma	69		
Citoesqueleto	69		
Sistema de endomembranas	71		
Ribosomas	73		
Mitocondrias	74		
Peroxisomas	74		
Centríolos	75		
Núcleo celular	76		
Cilias y flagelos	77		
Estructura de una célula vegetal	78		
Pared Celular	79		
Fotosíntesis	81		
Clorofila y Pigmentos accesorios	82		
El tilacoide	84		
Etapas de la fotosíntesis	85		
Respiración celular: Conceptos unificadores	91		
Glucólisis	92		
Oxidación del piruvato	94		
Ciclo de los ácidos tricarboxílico	94		
Balance del Ciclo de los Ácidos Tricarboxílicos	96		
Gradiente de protones y fosforilación oxidativa	97		
Fermentación	98		
Naturaleza y flujo de la información genética	100		
Nucleótidos	100		
Ácido ribonucleico (ARN)	102		

Ácido desoxirribonucleico (ADN)	103
Fórmulas de Nucleótidos y Ácidos nucleicos	105
Genoma y genes	106
Transcripción	107
Código genético	109
Código genético	110
ARN mensajero (ARNm)	111
ARN de transferencia (ARNt)	112
ARNr y ribosomas	114
Traducción	115
Etapa de iniciación	115
Etapa de elongación	115
Terminación de la traducción I	116
Terminación de la traducción II	116
Regulación genética: transcriptoma y proteoma	117
ADN y Ciclo celular	118
Ciclo celular	118
La interfase se subdivide en tres etapas:	118
Control del ciclo celular	119
Duración del ciclo celular	121
Estructura de la cromatina en las distintas etapas del ciclo celular	121
Estructura del cromosoma	124
Clasificación morfológica de los cromosomas	125
Autoduplicación del ADN	125
Telomerasa	131
Mitosis y Citocinesis	132
División del citoplasma	134
Funciones de la mitosis	135
MEIOSIS	136
Meiosis I o División Reduccional	136
Meiosis II o División Ecuacional	138
Consecuencias de la Meiosis	139
ACTIVIDADES	140

## ANEXOS 155

El descubrimiento de la estructura del ADN cumplirá 60 años	157
Los experimentos de Van Helmont	159
Algunas ideas sobre la herencia	161
Material complementario de la Unidad 2	163
ÁTOMOS	163
MOLÉCULAS Y ENLACES IÓNICOS Y COVALENTES	163

# PRÓLOGO

*Joven estudiante:*

*¡Bienvenido a la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales! Imaginamos tu sueño. Lo imaginamos como un sueño ya en marcha pero que recién comienza. Como un sueño que comenzó este año o tal vez hace ya algunos años. Lo imaginamos similar al de los varios miles de jóvenes que año tras año y para avanzar sobre distintos campos del conocimiento humano, inundan nuestra casa de estudios. Lo imaginamos como un intento de formarse para la vida. Lo imaginamos como un sueño repleto de dudas, con miedos, pero con la firme convicción de probar que con esfuerzo se puede alcanzar. Para acompañarte en esta importante etapa de tu formación, el grupo de docentes del ciclo de nivelación te brindaremos nuestro apoyo, que consistirá en orientar el carácter de los estudios que llevarás a cabo, a través de clases teórico-prácticas y clases de consulta que te prepararán para que puedas desarrollar todo tu potencial y afrontar con éxito los requerimientos de las diferentes asignaturas que estén involucradas en tu carrera. También recibirás como apoyo, este material escrito que creemos será una importante guía de estudio. En relación con la metodología de trabajo, es significativo destacar que si bien estaremos en contacto durante las clases y las aulas virtuales, la lectura que hagas por tu cuenta de este material de estudio que pone a tu disposición la Facultad, y el esfuerzo por resolver los problemas aquí planteados, serán de gran importancia a la hora de medir el grado de comprensión de las principales ideas involucradas en este curso de nivelación. Como importante, te adelantamos que a medida que avances en el desarrollo del curso, podrás autoevaluarte a través de instrumentos (pruebas espejo) que pondremos a tu disposición. Estas evaluaciones, también nos servirán a los docentes encargados del curso, para evaluar nuestro desempeño. Los contenidos que abordaremos, en su mayoría debieran resultarte conocidos. En tu paso por la Escuela Media, seguro que estuviste en contacto con ellos, y además seguro que el nivel de profundidad con el que serán abordados en este Ciclo de Nivelación, no será distinto al que emplearon tus profesores del nivel medio. Es nuestra intención, por un lado nivelar conocimientos y capacidades, y por otro, definir tendencias y vocaciones. Los problemas planteados, intentan acercarte la problemática de las distintas carreras de la Facultad, naturalmente desde la sencillez con la cual se puede plantear en un curso introductorio, con el propósito de que puedas, al menos, vislumbrar tu futuro profesional.*

*Te deseamos suerte y que tus sueños comiencen a cumplirse.*

# PROGRAMA

## Unidad 1. La Biología y sus disciplinas.

- a. ¿Qué estudia la Biología?: Concepto de vida y sus dificultades. Características de los seres vivos.
- b. La Biología como ciencia: La metodología científica y la metodología biológica. El artículo científico. La Biología como técnica.
- c. Las Ciencias Biológicas a lo largo de la Historia: De Aristóteles a nuestros días, una visión comparada del pensamiento biológico.
- d. Los ámbitos de estudio de la Biología: Determinado los objetos de estudio de la Biología y sus escalas de aproximación. Las disciplinas de la Biología y su campo profesional y de aplicación.

## Unidad 2. Los componentes químicos de los seres vivos.

- a. Agua: importancia del agua en la naturaleza, en los ciclo biogeoquímicos y en el metabolismo de los seres vivos.
- b. Átomos, moléculas y sustancias biológicas: carbohidratos, lípidos y proteínas. Características químicas estructurales y funcionales de cada tipo de componente.
- c. Ácidos nucleicos: estructura química y función: ADN (replicación, reparación), ARN (transcripción). Ciclos biológicos del ADN.

## Unidad 3. Célula.

- a. Estructura y función de la célula: La célula procariótica y la eucariótica. Morfofisiología celular (membrana plasmática, citoplasma, núcleo, cromatina, principales orgánulos).
- b. Las transformaciones energéticas en la célula: respiración, fermentación, fotosíntesis. Ciclos del  $O_2$  y  $CO_2$ .
- c. Reproducción celular: Mitosis y meiosis, características y consecuencias genéticas.



## BIBLIOGRAFIA

- BUNGE, M.1987. La ciencia, su método y filosofía. Ed. Siglo XX, Buenos Aires
- CAMPBELL, N.A. & J.B. REECE. 2007. Biología, 7ª edición. Médica Panamericana. Buenos Aires.
- CURTIS, H., BARNES, N.S.; SCHNEK, A. & A. MASSARINI. 2008. Biología. 7ª edición. Médica Panamericana, Buenos Aires.
- DE ROBERTIS, E.D. & J HIB. 2004. Fundamentos de Biología Celular y Molecular. 4ª edición. El Ateneo. Buenos Aires.
- GEYMONAT, L. 1988. El pensamiento científico. Eudeba, Buenos Aires.
- GOULD, S.J.1983. Desde Darwin. Reflexiones sobre historia natural. Blume, Madrid.
- KLIMOVSKY, G.1994. Las desventuras del conocimiento científico. A-Z. Buenos Aires.
- LAZCANO-ARAUJO, A. 1994. El origen de la vida: evolución química y evolución biológica. 3ª edición. Trillas. México.
- MARGULIS, L. 1998. El origen de la célula. Reverté. Mexico.
- MAYR, E.2006. Por qué es única la biología. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica. Katz. Buenos Aires.
- OPARÍN, A.I. 1973. Origen de la vida sobre la Tierra. Tecnos, Madrid.
- ROLAND, J.C.; SZOLLOSI, A. & D. SZOLLOSI. 1976. Atlas de Biología celular. Toray Masson, Barcelona.
- ROSNEY, J. de. 1993. ¿Qué es la vida?. Salvat S.A., Barcelona.
- SADAVA, D.; HELLER, H.C.; ORIAN, G.H.; PURVES, W.H. & D.M. HILLIS. 2009. Vida. La ciencia de la Biología. 8ª edición. Médica Panamericana. Buenos Aires.
- SOBER, E. 1996. Filosofía de la Biología. Alianza. España.
- SOLOMON, E.P.; BERG, L.R. & D.W. MARTIN. 2008. Biología. 8ª edición. Mc Graw Hill. México.
- VILLE, C.A. 1996. Biología, 8ª edición. Mc Graw Hill, México.
- WATSON, J.D. 1978. Biología molecular del gen. Fondo Educativo Interamericano, Bogotá/Caracas.



# UNIDAD 1

---

## LA BIOLOGÍA Y SUS DISCIPLINAS

### Contenidos:

- ¿Qué estudia la Biología?
- La Biología como ciencia
- Las Ciencias Biológicas a lo largo de la Historia
- Los ámbitos de estudio de la Biología



**ARTÍCULO DE ANÁLISIS Y DEBATE****EL TRÁNSITO DESDE LA CIENCIA BÁSICA A LA TECNOLOGÍA: LA BIOLOGÍA COMO MODELO****ALDO GONZÁLEZ BECERRA**

Centro de Investigaciones Biológicas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), de España. REVISTA IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN. N° 18 (1998), págs. 91-106

El conjunto de las ciencias básicas (matemáticas, física, química y biología) ha tenido períodos de luces y sombras en el desarrollo histórico de la raza humana, dependiendo algunas veces de genialidades que han contribuido a dar saltos cualitativos y significativos avances. Estos avances han coincidido normalmente con un adecuado aporte económicosocial, pero también con períodos de crisis de los sistemas, en los que se ha puesto a prueba la capacidad de sobreponerse a imprevistos o catástrofes.

Esto ha originado que desde los tiempos de Pasteur se hablase de la ciencia y sus aplicaciones. Conceptos más modernos han centrado esta problemática dividiendo el campo entre ciencia básica, ciencia aplicada y tecnología. Aún hoy, no es fácil delimitar las fronteras entre estas grandes vigas maestras, donde se apoya y desde donde emerge el conocimiento.

**1. Introducción**

Quizás ha sido Konrad Lorenz el que ha puesto la adquisición del conocimiento al nivel de una ciencia de la naturaleza, tratando con ello de buscar una conexión con la realidad plausible. La teoría del conocimiento moderno, que se inicia con John Locke, va incorporando a través de su desarrollo una tendencia positivista y últimamente evolucionista. De tal forma se configura una pregunta fundamental: ¿de qué manera se adquiere conocimiento? La biología, por su parte, inquiriere cómo nace el conocimiento a partir de sí mismo. Y esta es la relación mínima que se establece entre la biología y la teoría del conocimiento (Riedl, 1983). Esta pequeña introducción, en la que se solapan algunos fundamentos de la filosofía moderna con la biología, se inserta en la dinámica propia de esta última como disciplina que crea conocimiento, al igual que la química, la física y las matemáticas, sin distinguir los grados de aproximación entre ellas y su capacidad para sumergirse en el campo de la abstracción misma. Sin embargo, no es posible concebir la puesta en marcha de un avance tecnológico sin disponer de los sólidos cimientos que aportan las ciencias básicas por separado. Más recientemente, como se ha podido evidenciar, se van produciendo puentes de aproximación en los que el soporte de una línea de trabajo se encuentra en los puntos de interacción entre dos ciencias. Este nuevo concepto es la multidisciplinariedad, palabra larga y compleja en contenido porque recoge teoría y experimentación de dos o más áreas de investigación, dando lugar a acoplamientos perfectos, en cuyos vértices se produce estimulación de la creatividad. La creación de conocimiento en las ciencias no tiende a admitir como verdad conceptos vagos ni imprecisiones cuantitativas; la forma más común está constituida por evidencias experimentales, que son vertebradas y comprendidas mediante factos lógicos.

Los resultados del avance científico en la unidad que ha venido funcionando desde hace siglos, la nación o el Estado, pueden ser medibles teniendo en cuenta los factores que inciden en el desarrollo de los países.

Tal desarrollo, que también se puede determinar, ha dado lugar a que se produzca una distribución entre países con capacidad para crear conocimiento y otros que casi no disponen de él; entre estos extremos se encuentran comprendidas todas las gradaciones. Un reciente ensayo del premio Nobel, Perutz (1991), en el que hace un análisis del impacto de la ciencia sobre algunos ámbitos que refuerzan la calidad de vida de las sociedades, concluye que el avance científico promovido por la investigación se ha producido en el área sanitaria, en la producción de alimentos, en el problema energético y en el del crecimiento de la población. En un artículo de Renart (1995) se señala que el desarrollo científico de un país es un parámetro indicador de la riqueza del mismo, tanto más cuanto que este desarrollo es la causa y no la consecuencia del desarrollo de los países.

Vista desde este ángulo, la relación entre sociedad-ciencia-tecnología y calidad de vida se sitúa sobre un eje en el que no es posible alcanzar el último paso antes de haber realizado un esfuerzo del conjunto social para establecer las bases de un desarrollo científico ordenado y sistemático que permita crear conocimiento. La biología, cuyo auge en este último medio siglo ha sido destacado, es un buen modelo de cómo una disciplina científica puede permear diferentes fases del quehacer social.

La biología es un ejemplo útil que indica cómo a partir de la creación de conocimiento y de su consistente transformación en tecnología, ha permitido elevar los índices de calidad de vida, logrando a su vez una optimación del uso de los recursos disponibles de cada país. Los países que forman parte de lo que se ha dado en llamar primer mundo han adquirido capacidad económica para la compra y disfrute de infraestructura e insumos de los que no disponían, ya fuera por razones geográficas (países nórdicos), de extensión territorial (Europa occidental) o por estar sujetos a la acción de agentes orográficos o geológicos (países bajos, Japón); sin embargo, pueden adquirir alimentos, minerales, maderas, etc., que no pueden producir por sí mismos: esa acumulación de capital se realiza en gran parte mediante la venta de tecnologías a los países terceros. Tal trueque, que en un comienzo fue sólo mercantil, ha terminado induciendo tremendas desigualdades que mantienen verdaderos círculos viciosos entre países independientes y dependientes.

## 2. Aplicaciones de la biología en nuevos ámbitos

Las ciencias biológicas, que son nuestro modelo de análisis, han impulsado el desarrollo en todos los ámbitos del quehacer humano: nuevos fármacos, vacunas, cirugía especializada, diagnóstico y prevención de enfermedades en hombres, plantas y animales, nuevas cepas de organismos vivos de uso agrícola, ganadero y forestal, reparación del medio ambiente, etc., por solo nombrar algunos tópicos de actualidad.

En campos tan alejados de la actividad científica como son los temas judiciales, se ha hecho presente y hasta allí ha alcanzado su influencia.

Hoy día a nadie le llama la atención que un juez solicite la aplicación de técnicas de PCR (Polychain enzyme reaction) para comparar el ADN de un supuesto agresor y dictar sentencia sobre un asesinato, o simplemente para determinar la paternidad responsable, identificar cadáveres calcinados por el fuego, semidestruidos por agentes químicos o destrozados en accidentes de tráfico.

Por ello mismo, es bueno manifestar que la propia sociedad debe crear los mecanismos para regular esta nueva afluencia de medios que proporcionan las nuevas tecnologías, con vista a que finalmente redunden en beneficio de la raza humana y se rijan por los estrictos cauces de la ética. Propugnar un avance en la investigación sin tener en cuenta estos aspectos fundamentales, creemos que cuando menos supondría una actitud irresponsable.

La biología, en el concepto globalizador más reciente, busca sus cauces en la interdisciplinariedad de sus tareas y en una estrecha relación con las otras ciencias básicas, matemáticas, física y química, fundamentalmente por la inabarcabilidad del conocimiento que se produce cada día en los laboratorios de los países que se van incorporando a las nuevas disciplinas. En este sentido, la biotecnología ofrece el modelo más integrador, donde concluye e interactúa un conjunto de disciplinas entre las que se da un fuerte componente de interdependencia con la ingeniería genética (Muñoz, 1995).

### **3. Disciplinas viejas-disciplinas nuevas y su relación con el entorno natural**

La biología, como todas las ciencias en su devenir histórico, ha ido construyendo un acervo de conocimientos por acumulación, pero quizás éste no sea su mayor tesoro ni su forma más espectacular de obnubilar a la razón humana. Sus saltos cualitativos son los que la sitúan a la cabeza del conocimiento y le permiten escudriñar en la frontera de lo desconocido.

Un ejemplo claro ha sido la taxonomía (Muñoz, 1992), la vieja madre de las ciencias biológicas, que desde Linneo ordena y clasifica para ir dando forma a la macroestructura organizativa de la naturaleza. La taxonomía contribuyó así al estudio de la función, y a partir de ella a las especialidades, que parecieron ser la solución del siglo XIX, hasta llegar al período de la biología reduccionista donde la taxonomía quedó relegada al oscuro desván de la historia. En tiempos recientes es la biotecnología la que lentamente va reponiendo a la taxonomía a su nuevo sitio, quizás hasta con un cierto protagonismo. Aparecen nuevas especies con las que hay que trabajar de forma urgente, y el biólogo molecular debe saber con certeza qué organismo es el que está manipulando, y debe disponer también de una metodología rápida y moderna que le permita distinguir para saber qué está ordenando. Se produce de este modo una simbiosis y un aporte de las otras especialidades, y hoy la taxonomía invade los campos del ARN, utiliza técnicas de campo pulsado para separar los cromosomas, y hasta causa fascinación cuando se descubre que las viejas especies que estuvieron agrupadas en un mismo género están emparentadas con otras de insospechado origen, y que los patrones morfológicos ya no son barreras seguras e infranqueables. Las especies se siguen comportando de acuerdo con la definición de Mayr, pero hay que cambiar los criterios, revisar los taxones y buscar nuevas metodologías para redefinir criterios con respecto a especies y subespecies en extinción que es necesario conservar para el bien de la humanidad. La misma evolución sitúa el listón de la taxonomía a un nivel alto para responder a los nuevos desafíos que suponen validar o rechazar las teorías y conceptos como la evolución horizontal que, hasta hace un tiempo, eran impensables. Hoy son temas de actualidad en los que trabajan biólogos que han descubierto que los plásmidos son capaces de transportar material genético de unas especies a otras cuando, hasta anteaer, se consideraban como barreras infranqueables.

De igual manera, se podría ejemplificar a través del interés actual por el estudio de la biodiversidad, enfocando su interés no solamente como un mejor conocimiento de todos los seres vivos del planeta, sino también como la posibilidad de poder conseguir beneficios de todo tipo con los seres vivos que se van descubriendo en países donde la investigación básica ha realizado pocos avances. Igualmente, la conservación de esta rica biodiversidad

es una obligación ineludible de la raza humana, concepto que se enlaza directamente con el medio ambiente. Un medio ambiente sometido a agresiones constantes por la colonización de las poblaciones humanas, reducido en sus posibilidades de equilibrio, con tendencia a incrementar la degradación de los ecosistemas, efectos que contribuyen con cierta inmediatez a reducir los índices de biodiversidad. Estudiosos de los fenómenos de catástrofes dan cuenta de este tipo de ruptura de los equilibrios, ya sea por sobrecaptura de las especies (captura indiscriminada de ciertas especies de peces en el Pacífico sur) o, por el contrario, explosión de la natalidad de otras que dilapidan el recurso de sustento (sobrepoblación de elefantes en África).

Ha sido esta nueva faceta de la biología la que ha hecho que actualmente los países del continente iberoamericano constituyan una de las zonas geográficas más interesantes de estudio, dada la importante biodiversidad que poseen y la constante amenaza que se cierne sobre ellos (zonas de guerra, extrema pobreza, explotación irracional de los recursos, etc.). Tanto en la zona del istmo centroamericano como en el África meridional, están ya en peligro de extinción varias especies de animales y de plantas, amenazadas por la actividad antropomórfica. En este último caso, se ha planteado un contencioso por parte de algunos países que consideran como una agresión que países ricos hayan incrementado sus bancos de genes con material originario de su flora. Un articulista de Zimbabwe escribía en un periódico suramericano que «el germoplasma de medio millón de especies vegetales ha sido ‘saqueado’ por países del norte a naciones en desarrollo de África y América del Sur...» (Mutume, 1995), y agregaba: «Más de dos tercios de las especies vegetales del mundo son originarias de países en desarrollo, y el valor de los recursos genéticos de uso medicinal podría llegar a 47.000 millones de dólares para el año 2000».

Estos países han perdido todo control sobre su utilización y las patentes, siendo más grave aún la negación al acceso a estos bancos de genes impuesto por las multinacionales. Plantas de uso agroindustrial que representan millones de dólares para la economía de los países en desarrollo, como el algodón y la soya, han sido manipuladas genéticamente en Estados Unidos y Europa, y posteriormente patentadas, lo que ha causado dificultades para su exportación al norte.

En Nicaragua, en ciertas zonas como las comunidades indígenas de Miskitos, Sumos, Ramas, etc., han convivido en una situación de equilibrio con su entorno natural en los últimos diez mil años, lo que les ha permitido obtener alimentación, medicinas, habitación y niveles básicos de calidad de vida haciendo uso de los recursos hídricos y de la capa vegetal. En otras zonas, el crecimiento de la población, que carece de los medios tecnológicos y del capital humano para la explotación racional de los recursos, crea un efecto negativo en el medio ambiente que rodea a estos asentamientos humanos. En tales casos se producen fenómenos de agresión a los recursos vegetales (selva tropical) para la obtención de suelo de cultivo y de combustible, lo que a su vez, por la labilidad de la estructura del suelo, produce su degradación, ya que son retirados de nutrientes de la capa orgánica. Algunos autores sostienen que la cubierta vegetal de las zonas tropicales se relaciona de una manera extremadamente débil con el suelo donde se implanta y que lo hace a través de fenómenos de simbiosis, como puede ser el de micorrizas. Éste consiste en una interacción positiva entre planta y hongo, en el que la planta alberga en sus tejidos al hongo y, por el contrario, sus raíces infectadas por el micelio (cuerpo) del hongo le permiten obtener nutrientes del suelo que de otra manera le sería imposible poder captar y aprovechar para su nutrición. De esta forma, las plantas alcanzan un mayor desarrollo, mejoran su resistencia a las plagas y elevan su rendimiento en calidad y cantidad de madera. Por el contrario, si se elimina la capa vegetal por tala indiscriminada, la alta pluviosidad de la zona arrastra el débil manto de materia vegetal y se pierde la capacidad de regeneración del suelo, dando paso a los primeros síntomas de erosión y haciendo imposible la restitución de la capa vegetal de origen.



En una etapa más avanzada en la estructuración de un ecosistema, se puede producir una ruptura de los ciclos biogeoquímicos, apareciendo los primeros síntomas de las catástrofes biológicas. Como es bien sabido, los productores primarios, que en los ecosistemas terrestres son los árboles, albergan faunas de consumidores primarios que son la fauna herbívora y la frugívora, además de la microfauna del suelo que corresponde a insectos saprófagos. Todos ellos se ven amenazados de inmediato en cuanto el recurso de sostén que es el suelo comienza un ciclo de destrucción. Tanto unos como otros son, a su vez, eslabones anteriores que permiten la implantación de consumidores secundarios y terciarios. Al desaparecer los primeros, se producen migraciones y en los casos de dificultad de desplazamiento estas poblaciones se ven amenazadas de extinción. En resumen, en una agresión a un ecosistema hay un constante ataque a las especies y una constante amenaza de disminución de la biodiversidad.

De otro lado, está el factor que tiene que ver con la supervivencia de las poblaciones humanas. Las autoridades de estos países deben considerar si aplican normativas para evitar la agresión medioambiental o ponen a estas poblaciones en condiciones mínimas de supervivencia al no poder sembrar maíz y coger madera para construir viviendas y preparar alimentos.

En tan lamentables condiciones que conforman la realidad de estas sociedades, el problema es la reducción notable de la biodiversidad: el dilema aparece sin solución en el horizonte próximo, por lo menos hasta la fecha. La única conclusión que podemos obtener es que biodiversidad y subdesarrollo son incompatibles. Parece que nos estamos aproximando a la hora en que las sociedades industrializadas van a tener que sopesar, entre sus políticas de cooperación, incluir líneas de acción para restablecer los equilibrios en las zonas deprimidas donde la destrucción de la biodiversidad ha pasado de ser una simple amenaza a constituirse en parte de una realidad. Como aporte positivo, la biología dispone de herramientas para inventariar y cooperar en la reparación de los ciclos dañados para restablecer el equilibrio entre las especies. Sin embargo, la evaluación del impacto ambiental, tanto desde el punto de vista de la actividad antropomórfica negativa como desde la implantación de industrias para impulsar el desarrollo, debe tener en cuenta el apoyo de las ciencias sociales. Sin contar con estos factores será imposible lograr que la sociedad en su conjunto se haga cargo de esta problemática (no hablamos sólo de zonas deprimidas).

En el entorno de los países desarrollados, estas sociedades, con más medios a su alcance, no han logrado garantizar un desarrollo sostenido en armonía con el medio ambiente. En cualquiera de los casos, se hace imprescindible desarrollar una conciencia social que sea capaz de involucrar a las poblaciones humanas en mantener los equilibrios con la naturaleza. Estos conceptos se recogen en determinadas sociedades como ecologismo. No obstante, creo pertinente señalar que la ecología es una ciencia cuantitativa que se preocupa del estudio del funcionamiento de los ecosistemas, y que lo que se echa en falta es la puesta en práctica de una política medioambiental que debe ser reflejo de una sociedad con las suficientes luces históricas como para comprender que las poblaciones humanas tienen una estricta dependencia de los sistemas donde están insertas, lo que hace que su deber sea tratar de mantener un equilibrio razonable con ellos dentro de sus posibilidades. El concepto general es introducir un manejo adecuado de los ecosistemas como recurso renovable para asegurar su permanencia. Esta conceptualización del medio ambiente como universo de procesos lábiles y limitados fue una cuestión que marcó la supervivencia de nuestros antepasados sin tener que recurrir a profundos análisis; lo esperable de las sociedades contemporáneas es que sepan rescatar dichos modos de hacer, de producir y de relacionarse con el medio ambiente, sin inducir procesos irreversibles de destrucción de los medios de subsistencia. En tal sentido, la biotecnología ambiental puede cumplir un papel relevante para detectar, prevenir y remediar la emisión de contaminantes, evitando la destrucción de los equilibrios

en los países desarrollados y corrigiendo los errores cometidos por estos en los países terceros cuando asuman mayores niveles de desarrollo (FEB, 1994b).

#### 4. La intromisión de la biología actual en la salud

Los estudios del proyecto genoma humano (PGH), que en su inicio no fue más que la osadía de un grupo de científicos para introducir la curiosidad en los mecanismos básicos de regeneración de la propia especie, van echando luces poco a poco sobre errores genéticos y enfermedades que hace no más de diez años aparecían con una etiología indefinida. Los tres objetivos a cubrir por el PGH fueron: un mapa genético de las posiciones relativas de los genes, un mapa físico de las posiciones reales, y la determinación de la secuencia de las bases del ADN (FEB, 1995).

Todos los humanos somos portadores de un genoma muy parecido, pero las mutaciones de su propio ADN son las responsables de las diferencias. Si estas diferencias están localizadas en una parte importante del ADN, se puede producir una interrupción de la actividad biológica normal generando lo que conocemos como enfermedad genética, que corresponde a trastornos o deficiencias que son propios del individuo y que están determinados por la conformación de su ADN.

A partir de aquí se ha creado la terapia génica, que ha ido ganando cuerpo con la aplicación de las técnicas de transferencia génica. Las aplicaciones pueden dirigirse a campos como el tratamiento del cáncer y las enfermedades infecciosas (ej., en casos de tanta actualidad como el SIDA). Sin embargo, cuando se habla de este tema es necesario hacer referencia a dos formas de atacar el problema: una es la terapia somática, que se aplica mediante la transferencia de genes (uno o varios) a células corporales, y su efecto incide sólo sobre el paciente. La otra es la terapia genética germinal que se aplica a las células germinales del individuo, con lo que se podría variar la configuración genética de las células sexuales y transmitir dichos caracteres a las futuras generaciones. Esta segunda terapia tiene profundas implicaciones éticas y morales, estando prohibida actualmente en todos los países.

El factor de interdisciplinariedad en áreas muy definidas de la biología molecular, como es la transferencia génica, debe concentrar esfuerzos para resolver los problemas prácticos que crea el nuevo conocimiento, como son: el mejor percibimiento de los sistemas de trasplante de células implicadas en la reconstitución, el desarrollo y mejora de técnicas de transferencia de genes, las consecuencias de la introducción de células que producen proteínas que se comportan como extrañas, el mejor entendimiento de los factores que controlan la expresión de genes introducidos en células somáticas (Muñoz, 1992).

Los últimos avances en materia de trasplantes han comenzado a utilizar células de cordón umbilical que contienen aproximadamente unos 100 cc de sangre placentaria, con células precursoras del sistema sanguíneo capaces de crecer y con unas características que aumentan la compatibilidad con el receptor, disminuyendo el rechazo que se da con frecuencia en los trasplantes de médula ósea aplicados al tratamiento de linfomas, leucemias y algunos tipos de anemias (El País, 1996). En varios países se han puesto en marcha bancos privados en los que se almacenan todos los cordones umbilicales de los recién nacidos, con vistas a servir al niño donante, en primer lugar, y luego a otros usuarios.

Un reciente hallazgo, destacado por la prensa, hace referencia a las características del gen BRCA-2, responsable en un 10% de los cánceres de mama y de ovario, que actúa de forma

silenciosa, es decir, pasa de una generación a otra sin manifestarse hasta que aparece la enfermedad; a estos genes inactivados por causas que se desconocen también se les ha llamado genes dormidos. Su detección, aislamiento y caracterización han contribuido a esclarecer su función como agentes etiológicos de este tipo de cáncer, ya que muchas mujeres pueden ser portadoras de este gen mutante pero no llegan a padecer la enfermedad. La detección por técnicas de biología molecular es una nueva vía para el tratamiento y prevención de esos tipos de cáncer (El País, 1996).

Esta verdadera estampida de los avances en biología molecular y en ingeniería genética está conduciendo a la idea de patentar series de genes humanos. Creemos que de forma paralela se deben introducir criterios que regulen y modulen el alcance de los mismos para que dicha biología y la que se haga a partir del año 2000 tengan abierta una puerta al futuro. En tal aspecto tiene especial influencia la actitud de las empresas, que se muestran renuentes a desarrollar aplicaciones diagnósticas y terapéuticas si sus cuantiosas inversiones no están protegidas mediante patentes. Este es un debate recién abierto por el que habrá que pronunciarse, teniendo en cuenta que se está manipulando la base que da consistencia a la existencia de la propia especie humana.

## 5. Una visión desde la zoología

Los mastozoólogos modernos han comenzado a disponer de herramientas poderosas para interpretar el comportamiento de las especies. Un ejemplo citado por Perutz (1991) nos puede ayudar a comprender cómo evolucionan los conceptos y, a partir de este punto, cómo se ponen en marcha las aplicaciones. El camello y la llama tienen una proximidad como especies pero viven en ambientes diferentes: el primero dispone de una hemoglobina que tiene una afinidad normal por el oxígeno y que está en relación con su tamaño; la llama, que vive en la cordillera de los Andes, ha sufrido una mutación en su ADN, correspondiente a una de las dos cadenas de globina que componen su hemoglobina, dándole a su vez una mayor afinidad por el oxígeno. Tal mutación le significa una ventaja, ya que este animal puede respirar un aire con bajo contenido de oxígeno, lo que le ha permitido que pueda colonizar las alturas andinas. Aquí surge de inmediato la pregunta: ¿fue la alteración del ADN lo que le facilitó colonizar nuevos nichos ecológicos?, o a la inversa, ¿el desplazamiento de la especie a ese ambiente incrementó la presión ambiental creando las condiciones para inducir la mutación produciendo la adaptación? Este sencillo ejemplo pone de manifiesto cómo el estudio de la biología con nuevas herramientas permite dar más explicaciones, pone en tela de juicio conceptos tan establecidos como la teoría de la evolución de las especies enunciada por Darwin y, al mismo tiempo, detecta cambios en los genes que permiten estudiar las ventajas o desventajas de las proteínas que codifican para determinadas funciones e inciden sobre el comportamiento de las especies.

Esta es una manera más de seguir profundizando en el conocimiento de los genes y en sus potencialidades como generadores de formas de vida, sin abandonar la motivación básica de forma creadora de conocimiento, que nunca puede ir en contra de quienes la han puesto en marcha, en este caso la especie humana en su multifacético caleidoscopio de razas y de distribución geográfica.

También hay que reseñar el espectacular avance moderno de la inmunología, que ha tenido importantes repercusiones en la biología básica (anticuerpos monoclonales) y en aplicaciones a la salud humana (trasplantes de órganos) o en control medioambiental (detección de contaminación por pesticidas).

## 6. Cómo se produce el conocimiento en las sociedades más desarrolladas

Las entidades que producen conocimiento científico están insertas en la trama social, y son esencialmente el Estado y las empresas (tabla 1). Esta tipología varía en gran medida dependiendo del país: Japón es el más claro ejemplo en el que la intervención del Estado es inferior a la de las empresas en I + D; en cambio, en Estados Unidos y Europa Occidental el Estado soporta una parte importante de la capacidad investigadora, en especial cuanto más básica es la investigación. Las empresas financian en mayor medida la investigación que supone menor riesgo, resultados a corto plazo y máximo de aplicación, lo que hace que sus características diferencien a una de la otra. Sin embargo, el esfuerzo conjunto de ambos sistemas da como resultado la evolución tecnológica que realimenta el sistema.

Producen Ciencias	Características	Resultados
Estado	Tiempo	Evolución Tecnológica
Empresa	Dirección Orientación Impacto	

**Tabla 1.** Entidades productoras de conocimiento científico, características y resultados

Si se toma como ejemplo la biotecnología, tenemos que en Estados Unidos, que es la actual potencia hegemónica, se hizo una seria apuesta por poner en marcha empresas de alto riesgo, que se crearon con el objetivo de centrarse en aspectos concretos para la obtención de productos específicos, y que tuvieron su origen en los equipos de investigación que procedían de las universidades o centros públicos de investigación. Esta gran iniciativa, que inició su andadura en 1988, se ha venido desarrollando con altibajos. Recientemente, a partir de 1993, se ha detectado un nuevo repunte, pero sigue sin consolidarse.

Los principales productos y sus aplicaciones se resumen en la tabla 2. Los avances de la biotecnología aún no han logrado consolidarse en los mercados, primero por la reticencia de los consumidores a incorporar a sus hábitos sanitarios, culinarios o de protección del medio ambiente organismos (MOMGs) o productos que hayan sido objeto de manipulación genética, cuando además no suponen ventajas económicas especiales para los consumidores (FEB, 1994b).

Actividad Económica	Ámbito	Organismos o Productos	Aplicaciones
Comercialización de Productos	Salud	Humana	Diagnóstico
	Alimento	Animal	Farmacéutico
		Plantas	Semillas-Fertilizantes
Calidad Ambiental	Aditivos	Estabilizantes	Palatabilidad
		Enzimas	Conservación
	Microorganismos	Degradación	
			Reciclaje

**Tabla 2.** La biotecnología y las aplicaciones de los productos comercializados en algunos mercados

En Estados Unidos ya comienzan a aparecer a la venta tomates «Flav Savr», que han sido manipulados genéticamente para mantener la turgencia de la piel y facilitar el transporte (FEB, 1994a). Estos productos son expedidos, debidamente etiquetados, en mercados especializados.

Las leyes de Estados Unidos aún siguen a la cabeza de proporcionar una legislación permisiva que admite liberar estirpes o sus productos al medio ambiente sin mayores restricciones. En todas estas materias el resto de países permanece al margen o dispone de una legislación rígida y prohibitiva, como es el caso de Alemania.

## 7. Papel de la innovación en la dinámica ciencia y tecnología

La innovación continúa siendo el factor más versátil y el que produce la realimentación para que la dinámica entre ciencia y tecnología pueda producir conocimiento. El punto de convergencia está en el sector industrial, en el que sería imposible para la ciencia, con su propio esfuerzo aislado, crear las bases para obtener nuevo conocimiento sin disponer de la tecnología. En tiempos recientes, en los que la informática ha invadido todos los campos del quehacer científico, su avance sería impensable sin disponer de la innovación en nuevos materiales para la construcción de ordenadores cada vez más rápidos y de mayor capacidad. La fotónica ha dado su aporte al diseño de aparatos para cuantificar cambios a escala de nanogramos, las tecnologías de uso y aplicación del frío permiten mantener las estirpes a temperaturas inferiores a  $-80^{\circ}\text{C}$ , y así el conjunto de tecnologías que sería largo enumerar son en gran medida la explicación de los ingentes avances de la biología contemporánea (Fig. 1).

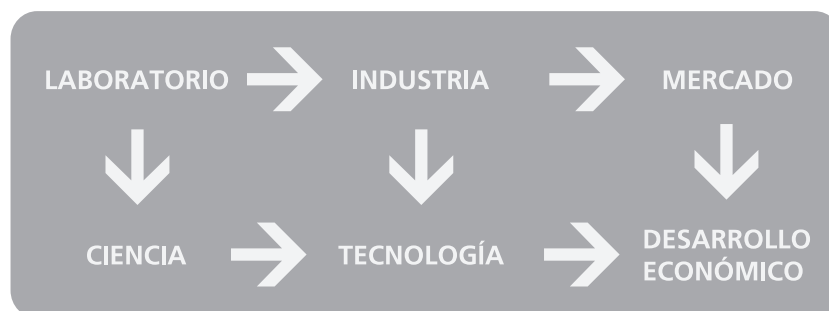


Figura 1. Esquema de las relaciones entre ciencia, tecnología e innovación

## 8. Existe una brecha que separa a los conjuntos sociales

Las actuales formas de medición dejan ver la distancia entre las sociedades a la luz de divisiones físicas o económico-políticas. Así se habla con propiedad de primer mundo y de continentes o subcontinentes deprimidos. A veces en un mismo país hay poblaciones con diferente grado de desarrollo, como es el caso de las costas Atlántica y del Pacífico en Centroamérica, donde incluso los componentes raciales están distribuidos de forma heterogénea y desigual. Las regiones o naciones carecen muchas veces de correspondencia en cuanto a su desarrollo evolutivo desde una perspectiva sociológica, ya que en algunos casos se respetaban las fronteras que separaron etnias o naciones, pero en otros se trazó simplemente una línea para separar territorios que interesaron a los colonizadores cuando esas tierras fueron descubiertas. Los grandes fenómenos socioculturales (India, China, Europa Occidental, Japón, África) no tienen una distribución homogénea y no es fácil analizar cada uno de ellos sin tener en cuenta su desarrollo histórico-socio-político. En Europa, un ejemplo lamentable es el enfrentamiento entre las diferentes etnias que componen la ex-Yugoslavia,

y en África ha ocurrido un fenómeno similar entre tutsis y hutus, lo que sirve de muestra acerca de la diversidad de razas y culturas en la especie humana, dando lugar a situaciones de alta complejidad a las que hay que incorporar gran número de variables que no son sencillas de definir. Lo único relativamente fácil de identificar es que en la actualidad existen tres zonas con altos índices de desarrollo, que son las que concentran casi el 95% de la investigación científica y el desarrollo tecnológico.

América Latina, como bloque, muestra una aproximación a esa descripción de la realidad internacional. Existen, por un lado, países con un buen desarrollo científico y con cierta capacidad para traducir ese avance en tecnología, pero no disponen del conjunto de estructuras para que se mantengan de forma sostenida y puedan competir en mercados internacionales. De esta manera, se ven relegados a la explotación de materias primas que en ocasiones las nuevas tecnologías van dejando obsoletas; por ejemplo, la sustitución del cobre por fibras sintéticas para la conducción de señales electromagnéticas, el clonaje de un gen que codifica una molécula similar al cacao, avances que dejan fuera del mercado las materias primas de uno o varios países. Este desequilibrio de posibilidades para producir tecnología se ha tratado de paliar creando mecanismos que faciliten la transferencia tecnológica, aunque muchas veces este camino se ve entorpecido por problemas de patentes y por los riesgos propios que implica dicha transferencia.

Por otro lado, hay países en los que incluso tal vía se ve obstaculizada porque no disponen de los mecanismos necesarios para que esta tecnología importada se implante, se desarrolle y se sostenga. De ahí emerge la urgente necesidad de realizar un esfuerzo para llevar a cabo una política científica que permita optimizar recursos de acuerdo con las prioridades que se establezcan en los países o en las regiones. Esta propuesta está condicionada fundamentalmente por el alto grado de competitividad que impone el actual desarrollo científico. Aun cuando en los países avanzados hay síntomas de crisis, no se abandonan las prioridades, porque se tiene conciencia de que es el conocimiento el que crea riqueza y no al contrario.

Es evidente que países pequeños, como es el caso de los que integran Europa Occidental, con una elevada tasa de población, no podrían sostener su alto índice de vida si no fuesen capaces de producir conocimiento y traducirlo en tecnología. También es necesario señalar que no es posible dejar toda la responsabilidad al componente científico sin tener en cuenta la promoción del componente social, donde por ejemplo el sector industrial es de gran importancia. No tomar en consideración este matiz puede llevar a producir ciencia elitista desligada de los planes estratégicos del conjunto social.

El pensamiento debe estar dirigido a elevar la capacidad de creación de conocimiento, reforzando el sistema universitario por medio de programas de formación de capital humano, asegurando su posterior inserción en los organismos que hacen ciencia a fin de consolidar los grupos de investigación, y asignando recursos para mantener laboratorios de investigación en líneas de interés que permitan desarrollar avances tecnológicos.

Por esta razón, el esfuerzo en formar personal altamente cualificado debe ser el primer eslabón para hacer ciencia de calidad traducible en tecnología, que permita a esos países la posibilidad de cimentar un desarrollo sostenido.

Es aconsejable formar a los científicos en un contexto donde estén concienciados de la utilidad de la ciencia como fuente de innovación. El científico debe estar abierto a incorporar nuevas líneas y a ser receptivo de la realidad que lo sostiene, a fin de innovar y mejorar los índices de calidad de vida de la sociedad. Y es probable que si no se logra aunar este esfuerzo y conducirlo a través de planes subregionales para optimizar los recursos, los países tengan que fijar a corto plazo un sistema de prioridades que puede resultar más rígido y con me-

nos posibilidades de incorporar un desarrollo científico adecuado a las necesidades de su potencial tecnológico.

De no ser así se corre el riesgo de hipotecar el futuro y quedarse relegado en un rincón de la historia.

En el caso de Iberoamérica es necesario utilizar todos los recursos disponibles provenientes de la cooperación internacional para hacer esta apuesta de futuro. Los países de la Comunidad Iberoamericana disponen de algunas herramientas producto de su devenir histórico, como es la ausencia de barreras lingüísticas. Eso facilita de entrada la búsqueda de conexiones que contribuyan a equilibrar las diferencias y que lentamente deben conducir a reducir otro tipo de barreras que impidan la integración.

Pensamos que siempre va a ser más fácil el diálogo entre dos personas discutiendo sobre la estructura de una proteína y, a partir de este punto, extenderlo hacia otras áreas de intereses económicos o sociales. Por otro lado, tampoco podemos caer en la ingenuidad de creer que la ciencia es neutra. Como todo quehacer humano, está impregnada de luces y sombras que son inseparables compañeras de nuestra especie desde los albores de la civilización.

## Bibliografía

ARGOS, L.: «España ha realizado siete de los 200 trasplantes de células de cordón umbilical del mundo». Diario El País, Madrid, 24.04.1996.

- - - «El gen del cáncer de mama BRCA-2 es silencioso». Diario El País, Madrid, 24.04.1996.

FEDERACIÓN EUROPEA DE BIOTECNOLOGÍA, Grupo de Estudio sobre la percepción de la biotecnología: «Biotecnología en alimentos y bebidas». Boletín 2, enero 1944a.

FEDERACIÓN EUROPEA DE BIOTECNOLOGÍA, Grupo de Estudio sobre la percepción de la biotecnología: «Patentando vida». Boletín 1, junio 1993.

FEDERACIÓN EUROPEA DE BIOTECNOLOGÍA, Grupo de Estudio sobre la percepción de la biotecnología: «La aplicación de la investigación genética humana». Boletín 3, enero 1995.

FEDERACIÓN EUROPEA DE BIOTECNOLOGÍA, Grupo de Estudio sobre la percepción de la biotecnología: «Biotecnología ambiental». Boletín 4, junio 1994b.

IRELA: Ciencia y Tecnología en América Central. Ed. Revel y George Ltd. Manchester, 1993.

LORENZ, K.: La otra cara del espejo. Ensayo para una historia natural del saber humano. Plaza & Janés, Barcelona, 1973.

MUÑOZ, E.: «Aspectos de la biología actual. Filosofía y Biología en acción». Arbor CXLIII, 564: 9-43, 1992.

MUÑOZ, E.: «Ingeniería genética en el sector primario y secundario: beneficios y problemas». Documento IESA 95-01: 1-21, 1995.

MUTUME, G.: «Patentes genéticas acorralan a agricultores del sur». Diario El Universal, Caracas (27.09.95), 1995.

PERUT, M.: Is Science Necessary? Oxford Univ, Press, 1991.

RENART, J.: «¿Es la ciencia necesaria?», Diario El País, 1995.

RIEDL, R.: Biología del conocimiento. Los fundamentos filogenéticos de la razón. Ed. Labor Universitaria, S.A. Barcelona, 1983.

# LA BIOLOGÍA Y SUS DISCIPLINAS

## GUÍA DE ACTIVIDADES

### Actividad 1

#### a. A modo de introducción comenzaremos con esta lectura...

Si compartimos la opinión de que la Tierra y el resto de los planetas del Sistema Solar tienen el mismo origen y se formaron aproximadamente al mismo tiempo, surge la pregunta de por qué planetas como Venus, Tierra y Marte que en su origen pudieron haber sido muy similares en su aspecto físico, hoy son tan diferentes.

O bien preguntarnos ¿Por qué sólo uno de aquellos planetas es rebosante en vida? Debemos entonces, analizar sus características distintivas.

**Venus** – Posee un diámetro de unos 12.300 km, una masa 0,82 veces la masa de la Tierra, una atmósfera muy densa, una temperatura global de 470 °C, una presión atmosférica 90 veces superior a la de la Tierra. Actualmente carece de agua la cual habría perdido por el efecto de calentamiento global.

**Marte** – Posee un diámetro de 6.790 km, una masa de 0,107 veces la masa terrestre, una delgada atmósfera de dióxido de carbono, una temperatura global de 60 °C bajo cero. No hay agua en estado líquido pero sí hielo en los casquetes polares.

**Tierra** – Posee un diámetro de 12.756,76 km, una atmósfera constituida principalmente de nitrógeno y en menor proporción oxígeno, una temperatura global de 15 °C. Existe agua principalmente en estado líquido. Además la superficie es cambiante.

Si comparamos los tres planetas resulta:

- La Tierra tiene un clima moderado.
- La Tierra tiene una gruesa capa atmosférica.
- La Tierra tiene agua predominantemente en estado líquido.
- La Tierra está plagada de vida.

¿La Tierra es así y por eso estamos nosotros?, o ¿la Tierra es así porque estamos nosotros?

#### → Oxígeno y vida

En primer lugar no había oxígeno atmosférico, su presencia habría sido fatal para los primeros seres vivos. El oxígeno es un producto de la propia vida.

#### → Agua y vida

El agua es el medio donde se disuelven y agrupan las moléculas orgánicas y los minerales necesarios para formar las estructuras celulares y desarrollar funciones vitales. No conocemos otro medio capaz de hacerlo. Se piensa que el origen de la vida ocurrió en el agua y muy tardíamente surgieron los primeros organismos terrestres y aéreos.



→ **Clima y vida**

El agua tiene un estrecho rango de temperatura dentro del cual permanece en estado líquido (0-100 °C). Por lo tanto la mayoría de las formas de vida que dependen del agua líquida, sólo pueden subsistir en aquel rango de temperatura.

En una atmósfera primitiva carente de oxígeno, donde el gas carbónico era el principal componente, el efecto invernadero fue de gran importancia para el surgimiento de la vida, ya que permitió que la temperatura no fuera extremadamente baja.

→ **Cambios en la Tierra y vida**

Ninguna de las características de la Tierra se ha mantenido inalterable a lo largo de la historia.

La transformación de la composición atmosférica está directamente relacionada con la aparición y desarrollo de los organismos vivos. Una atmósfera con oxígeno dio lugar a seres de respiración aeróbica y a la capa de ozono. Siendo los seres vivos sistemas abiertos que para su subsistencia dependen del intercambio permanente de materia y energía con el medio, las modificaciones de las condiciones en ese medio tienen que haber producido ajustes en el tipo y la cantidad de seres que lo habitaban.

La Tierra cambia lenta pero inexorablemente. Se originó hace unos 4.500 millones de años por agregación de materia sólida. Se encuentra formada por tres partes. Núcleo (fundido y denso), Manto (grueso y liviano) y Corteza (fina y de densidad baja). Es un planeta activo ya que sufre constantes cambios geológicos tales como deriva de continentes y deformaciones de la corteza. El tamaño es importante en relación a la manutención de núcleo fundido que determinan los cambios geológicos; y en relación al mantenimiento del campo gravitacional suficiente como para mantener océanos y una atmósfera.

Si observamos una fotografía de un paisaje y se nos pide que clasifiquemos a los elementos entre los de origen natural y de origen artificial, quizás nos resulte fácil hacer la separación. El siguiente paso es que clasifiquemos a los elementos de origen natural en las categorías: origen biológico y origen no biológico.

Nuestra intuición nos llevaría a agrupar a los de origen no biológico como **inertes**, estableciendo que obedecen a leyes específicas, en un sentido puramente mecánico (rocas, agua de océanos, arenas del desierto). En el otro grupo, es decir de origen biológico, agruparemos a los seres **vivos** u organismos, estableciendo que en esa categoría caben una riquísima variedad (plantas, animales y microorganismos).

Pero... ¿Cómo reconocemos que un objeto es un ser vivo? Surge la pregunta... ¿Qué es la vida? Interrogante que plantea un dilema nada trivial.

El tratar de definir el concepto de vida dividió la opinión de los científicos en dos corrientes:

→ La corriente **vitalista**, que considera que la vida queda determinada por la existencia de una fuerza particular, independiente de las leyes que rigen y explican al resto del Universo. Esta postura no conduce a la investigación científica ya que niega el poder de la misma para penetrar el "misterio de la vida".

→ La corriente **mecanicista**, que considera que los seres vivos pueden ser estudiados con los mismos métodos y razonamiento con el que son estudiados los mecanismos fabricados por el hombre. Esta postura fue la que más aporte dio acerca del fenómeno de la vida.

La corriente mecanicista abre la posibilidad de entender a los seres vivos como SISTEMAS. Las primeras nociones sobre la Teoría de los sistemas generales corresponden a un biólogo Karl Ludwing von Bertalanffy (1901-1972) en el año 1952, definiendo a un sistema como el conjunto de elementos en interacción. Los seres vivos actúan como **sistemas abiertos**, ya que mantienen un vínculo estrecho con el entorno y, por lo tanto se produce un intercambio permanente tanto de materia como de energía con el mismo.

Pero volviendo a la pregunta inicial... ¿Qué es la vida? ¿Qué es la muerte? Las respuestas pueden ser diferentes dependiendo del cristal con que se lo mire (una persona a favor del aborto legal, un médico, un sacerdote católico, un brahmán, etc.). El problema en definirla es que la vida no es algo abstracto.

#### Para discutir entre todos

**b. ¿Por qué es necesario definir qué es la vida? ¿Cómo creen que se responde a esta pregunta?**

## Actividad 2

### Epistemología y Filosofía de la Biología

Los conceptos de epistemología y filosofía de las ciencias se usan a veces como intercambiables, para referirse a reflexiones metacientíficas. Pero en realidad, si bien son ámbitos de estudio relacionados, no son sinónimos. **Epistemología** es la disciplina que trata sobre los problemas del conocimiento científico, las circunstancias históricas, psicológicas y sociológicas que llevan a su obtención, y los criterios con los cuales se los justifica o valida. La epistemología es por lo tanto el estudio de las condiciones de producción y validación del conocimiento científico; analiza de qué manera los científicos se plantean problemas y las formas en que los resuelven, cambian o abandonan. El conocimiento y evolución del cuerpo teórico y estructura de las teorías de una ciencia particular es objeto también de su estudio. Diferentes corrientes epistemológicas proponen teorías, métodos y conceptos propios o complementarios para este abordaje.

El campo de estudio de la **filosofía de las ciencias** es más amplio. Le compete el análisis de la epistemología misma y los criterios de su fundamentación como disciplina científica. También se ocupa del análisis filosófico de los conceptos y teorías de la ciencia en general, como sistema de conocimiento institucionalizado, y el de las ciencias particulares.

El siglo XX ha sido llamado el siglo de la biología, y el siglo XXI se anunciaba como el siglo de la biotecnología. El impacto de los descubrimientos biológicos en nuestra forma de vida será profundo y, según algunos autores, revolucionario. Interesa estar preparados para los desafíos que se presentan con una formación adecuada, que no sólo es la formación científico técnica, sino la de sus implicancias socioculturales. La **filosofía de la biología** se ocupa de analizar los problemas que propone la biología a la reflexión metacientífica. En su campo de interés se encuentra el análisis de conceptos

claves, como los de adaptación, evolución, función y complejidad. Son objeto de su estudio problemas como la relación cerebro y mente, el debate creacionismo y evolucionismo, y la evaluación ética de la aplicación de los conocimientos biológicos. La filosofía de la biología se pregunta si hay una ética natural evolucionista y si los genes y la sociobiología pueden explicar el comportamiento y las relaciones humanas. También estudia la evolución conceptual de principios fundamentales como la explicación evolucionista, los problemas teleológicos y su relación con el concepto de función y diseño. Sus temas de estudio alcanzan debates más recientes como las relaciones entre el proyecto genoma humano y sus aspectos empíricos, éticos y conceptuales.

Adaptado de Corigliano, M. C.

**a. Relaciona la lectura precedente y el artículo inicial de la Unidad y sintetiza la información presentada. Para ello selecciona alguna de las estrategias o técnicas de estudio que se encuentran en la Unidad 1 del apunte de la asignatura *Ambientación Universitaria*.**

### Actividad 3

**Elijan uno de los anexos 1, 2 o 3 y en grupos resuelvan las siguientes consignas**

- a. Identifica las etapas seguidas por el/los científicos en el trabajo leído.**
- b. Analiza cada etapa y determina la metodología y procedimientos llevados a cabo.**

### Actividad 4

**A partir de la lectura del texto *“El tránsito desde la Ciencia básica a la Tecnología: la Biología como modelo”* (1998. González Becerra, A. Revista Iberoamericana de Educación 18:91-106) identifica al menos 5 preguntas que las Ciencias Biológicas intentan responder a la sociedad actual.**

### Actividad 5

## QUÉ NO SABEMOS LOS GRANDES INTERROGANTES DE LA CIENCIA

Adaptado de Guadalupe Henestrosa<sup>1</sup>,

Los chicos miran al mundo con los ojos asombrados y el espíritu libre de prejuicios; esta virgindad del alma les permite plantear las dudas más obvias, aquellas que ningún adulto se atreve a formular sin sentirse ridículo. Los científicos, aunque ya crecidos, conservan y alimentan esa curiosidad infantil, esta ansia por saber cómo funcionan las cosas, qué hay más allá, por qué el mundo es como es. Y, como niños, se

1. Publicado originalmente en Revista Nueva 331, 1997

lanzan con hipótesis e instrumentos a explicar cada parte de este complejo universo que nos contiene.

Sin embargo, los efluvios del fin de milenio parecen haber convencido a unos cuantos pensadores de la inminencia del fin de la ciencia, así como ya presagiaron el fin de la historia o el fin de las ideologías. uno de ellos es el estadounidense John Horgan, siglo próximo de cursar un período que ha bautizado "Explosión de la ciencia" (comenzando en 1650) y que describe como "una estructura histórica similar a la Edad del Bronce o la Revolución Industrial".

Estos agoreros aseguran que el hombre ya ha contestado muchas de las preguntas básicas que viene haciendo desde que se paró en dos pies, y que los interrogantes que quedan por resolver están bastante acotados. Genética, reacciones nucleares, electromagnetismo, biología molecular: parecería que el conocimiento humano se estuviera acercando al corazón de la verdad.

Sin embargo, esta idea está bastante alejada del pensamiento de los investigadores y, además, ignora por completo la naturaleza del proceso de la inquisición científica. Tal vez no sea conveniente hacer un catálogo de lo que se sabe porque la cantidad de información que maneja la ciencia actual es tal que abrumba y produce la ilusión de que el panorama está completo, de que se acabaron los objetos de investigación. Resulta mucho más estimulante, en cambio, confeccionar una lista de lo que queda por saber, en un humilde reconocimiento de la gigantesca ignorancia de la humanidad, y aceptar que semejante lista siempre estará incompleta, porque es imposible llegar a conocer todo lo que se conoce.

William Harvey, el descubridor de la circulación de la sangre, que vivió en Gran Bretaña en el siglo XVII, afirmaba que "todo lo que sabemos es infinitamente menos que lo que permanece sin descubrir". Quizás, engeguado, podría haber pensado que poco quedaba por conocer más allá de la vasta e imbricada red de vasos sanguíneos que acababa de descubrir. Sin embargo, y aunque los glóbulos rojos, las placas arterioscleróticas y los procesos inmunológicos estaban por ese entonces bien lejos de la más febril imaginación, Harvey, fiel a los principios de la ciencia, conservó su respeto por la incierta maravilla de lo desconocido.

El mecanismo de la investigación es en sí mismo una búsqueda interminable, en la que cada respuesta plantea a su vez miles de nuevas preguntas, como en un infinito juego de cajas chinas; esta cadena de curiosidad va profundizando cada vez más el conocimiento, y el límite de esta inmersión parece el horizonte, que se vuelve a alejar tras cada paso.

Además, la ciencia no es un objeto estático, sino una estructura que se arma y desarma continuamente, a medida que cambian los datos, las técnicas y las circunstancias de los hombres. Se la podría comparar con un edificio que se va construyendo de acuerdo con ciertas reglas: si se cambian los supuestos y las reglamentaciones del juego, el edificio será distinto. Pero aunque las conclusiones y los métodos de la ciencia varíen con el tiempo, siempre quedará en pie la curiosidad humana.

### **Qué, por qué, cómo**

Según Robert Hazen, geofísico del Instituto Carnegie (Washington, Estados Unidos), las dudas de la humanidad pueden clasificarse en tres categorías de preguntas: qué hay allá afuera, cómo (o por qué) se originó y cómo funciona. Los interrogantes sel

primer tipo lanzaron a los exploradores a descubrir continentes en busca de nuevas plantas, animales y minerales. También dispararon la conquista del espacio y del fondo del mar. Del mismo modo, los químicos aislaron nuevos elementos, los astrónomos catalogaron miles y miles de estrellas y los físicos registraron fenómenos inusuales asociados con electricidad y magnetismo.

Pero aún después de siglos de trabajo la mayoría de las estimaciones sugieren que hemos identificado sólo dos por ciento de las especies existentes, la geología apenas ha arañado la superficie del planeta y se han descrito apenas un puñado de las casi mil proteínas producidas por nuestro organismo. Del mismo modo, las combinaciones posibles de los ciento y pico de elementos de la tabla periódica resultan, a los fines prácticos infinitas.

Quizás el más claro ejemplo de esta ignorancia sea la materia oscura. Parece que el universo tangible y visible - casas, perros, planetas, estrellas - representan sólo el uno por ciento de la masa de todo lo que existe pero que es invisible y cuya presencia sólo se evidencia por sus efectos sobre el movimiento de rotación de las estrellas en las galaxias en espiral.

Las explicaciones de los astrofísicos teóricos sobre la existencia de esta materia oscura, que no se ve pero se siente, son abundantes, pero ninguna concluyente. Y menos aún se sabe sobre su naturaleza, composición y comportamiento. Si consideramos que todo nuestro conocimiento se centra en el infinito uno por ciento de la masa que existe y que todo el universo restante permanece ignoto e invisible, virgen al microscopio de la ciencia, seguramente se desechará y nacerá un sentimiento de profunda curiosidad.

El segundo tipo de preguntas ¿cómo se originó?, es el disparador de la Teoría del Big Bang, por ejemplo, que intenta relatar los primeros momentos de todo lo que es. El origen de la vida tal vez sea otro de los interrogantes más apasionantes aunque ya están bastante claros los pasos bioquímicos iniciales, todavía no se sabe cómo de ése caldo de moléculas orgánicas de los mares ancestrales surgió la primera célula. Y aunque también se conteste a esta pregunta, queda por determinar si hay vida en otros puntos del cosmos y cómo fue su origen.

Por último, en el tercer interrogante ¿cómo funciona?, yace el impulso que lleva a los chicos a desarmar sus juguetes para descubrir sus mecanismos internos. Esta necesidad de explicar los misteriosos procesos de la naturaleza ha llevado a la creación de numerosas disciplinas científicas, que intentan echar luz sobre un mar de dudas, cómo evolucionan los seres vivos y las estrellas, cómo se desgastan las rocas, cómo interactúan los átomos entre sí, cómo se reproducen los hongos... Pero quizás el misterio más viejo y más resistente será el proceso por el cual un óvulo fertilizado llega a convertirse en un individuo adulto: a caballo entre la genética, la embriología y la biología molecular.

Sin duda, las preguntas seguirán existiendo mientras haya un hombre para maravillarse con el abanico que se despliega a su alrededor. No importa cuántas se contesten siempre surgirán otras y ése es el motor de la ciencia: sólo basta con observar el mundo con el asombro, la curiosidad y la santa irreverencia con que un niño puede pasar horas mirando un caminito de hormigas en el jardín.

### **Preguntas a rolete**

En su libro *¿Por qué los agujeros negros no son negros?*, Robert Hazen y Maxime Singer enlistaron las catorce preguntas más acuciantes para los científicos de hoy. Estas son:

1. ¿Qué es la materia oscura?
2. ¿Hay un destino final para el Universo?
3. ¿Se puede desarrollar un teoría que explique absolutamente todos los comportamientos de la materia y la energía?
4. ¿Cómo se combinan los átomos?
5. ¿Nos quedaremos sin energía?
6. ¿Qué fenómenos ocurren dentro de la Tierra?
7. ¿Cuántas personas es capaz de mantener un ecosistema terrestre?
8. ¿Cómo se originó la vida en la Tierra?
9. ¿Podremos descifrar completamente el código genético?
10. ¿Cómo se diversificó tanto la vida sobre la Tierra?
11. ¿Cómo se desarrolló un ser humano a partir de una célula?
12. ¿Cuáles son los mecanismos de la memoria?
13. ¿El comportamiento está dictado por los genes?
14. ¿Estamos solos en el Universo?

**a. Habrás notado que este texto es del año 1997, ¿cuáles de estas preguntas piensas que ya han sido respondidas? ¿Podrían surgir nuevas respuestas a estas mismas preguntas?**

**b. ¿Qué preguntas tienes hoy que crees puedas responderte como estudiante de Biología?**

**c. ¿Qué preguntas consideras que hoy las Ciencias Biológicas deben responder a la sociedad? (Enumera al menos 5)**

# UNIDAD 2

---

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS SERES VIVOS

### Contenidos:

- Agua
- Compuestos orgánicos: generalidades
  - Glúcidos o Hidratos de carbono
  - Lípidos
  - Proteínas





## INTRODUCCIÓN

Los seres vivos estamos formados por materia, con un alto grado de organización. En la composición química de los seres vivos, más del 90% del peso de los mismos está representado tan solo por cuatro elementos, los **bioelementos principales**: Oxígeno, Carbono, Hidrógeno y Nitrógeno, con las contribuciones que se especifican en la siguiente tabla.

Bioelemento	Porcentaje del peso de los organismos
Oxígeno	63%
Carbono	20%
Hidrógeno	9,5%
Nitrógeno	3%

Los cuatro bioelementos principales son los componentes primordiales de las **sustancias orgánicas**, así llamadas porque en la naturaleza se encuentran como producto de la actividad de los organismos vivos. Las sustancias orgánicas de mayor importancia en los seres vivos se agrupan en cuatro familias: los glúcidos o hidratos de carbono, los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos.

Los seres vivos también contienen **sustancias inorgánicas**, entre ellas, la más abundante de todas, el agua, que representa alrededor del 70% del peso corporal. Además del agua, otros minerales forman en conjunto entre el 4 y el 5% del peso corporal. Los macrominerales, o minerales más abundantes, son el Calcio, el Fósforo, el Magnesio, el Sodio, el Cloro, el Potasio y el Azufre. Entre los microminerales, también llamados oligoelementos, por su pequeña proporción en el organismo, se encuentran: Hierro, Zinc, Cobre, Yodo, Fluoruro, Manganeso, Cromo, Cobalto, Selenio y Molibdeno.

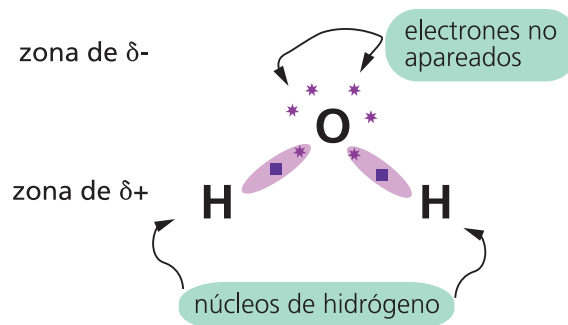
Composición química de los seres vivos	Sustancias inorgánicas	Agua
		Minerales
		Macrominerales
	Sustancias orgánicas	Microminerales
		Glúcidos
		Lípidos
		Proteínas
		Ácidos nucleicos

## AGUA

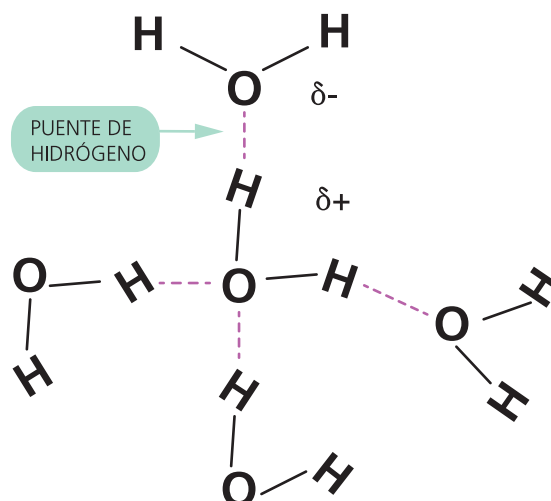
### El agua: puentes de hidrógeno, cohesión molecular y propiedades del agua

El agua es la sustancia más abundante en los seres vivos. Si bien es una sustancia muy común, debido a su abundancia, no es una sustancia ordinaria, pues reúne una serie de propiedades que la hacen especial y determinan el papel que desempeña en los organismos.

Las moléculas de agua (H<sub>2</sub>O) están formadas por un átomo de oxígeno ligado a dos átomos de hidrógeno, que quedan separados entre sí por un ángulo de 105°.



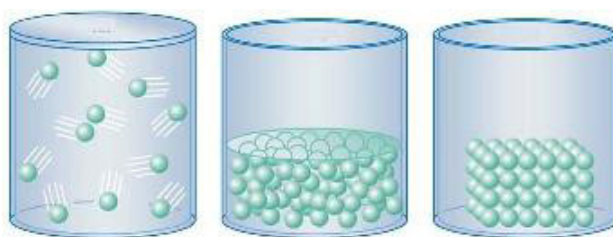
El agua es un **compuesto polar**: los enlaces entre oxígeno e hidrógeno son uniones covalentes polares. La diferencia de electronegatividad entre estos dos elementos hace que las cargas positivas y negativas no se distribuyan de manera uniforme, sino asimétricamente, formando polos o zonas de densidad eléctrica positiva y negativa. Al compartir sus electrones con el oxígeno (muy electronegativo), los dos átomos de hidrógeno dejan sus núcleos virtualmente desnudos. Dado que cada núcleo de hidrógeno es un protón, quedan así dos cargas positivas expuestas. Estas cargas positivas ejercen una fuerza de atracción sobre cualquier electrón no compartido. Como puede observarse en la representación de Lewis de la molécula de agua, el átomo de oxígeno posee dos pares de electrones no compartidos. Por lo tanto, las moléculas de agua se atraen unas a otras; los hidrógenos de una molécula se unen a los electrones desapareados de los átomos de oxígeno de otras moléculas. Cada molécula de agua presenta cuatro de estos sitios de unión, dos positivos (los núcleos de los hidrógenos) y dos negativos (los pares de electrones no compartidos del oxígeno). Es decir que una molécula de agua puede unirse de esta manera a otras cuatro.



Las uniones así formadas son un tipo de unión intermolecular denominado **unión puente de hidrógeno**. Dichas uniones no ocurren solamente entre las moléculas de agua, sino que se producen entre muchos compuestos diferentes, siempre que éstos sean polares. Las uniones puente de hidrógeno son enlaces más débiles que los enlaces interatómicos, como los covalentes o los iónicos; sin embargo, en conjunto, ejercen una influencia muy importante, tanto en las propiedades del agua como en otras sustancias que forman parte de los seres vivos.

La capacidad de las moléculas de agua para formar puentes de hidrógeno entre sí es responsable de la fuerte unión o **cohesión molecular** que se verifica entre ellas. La alta cohesión de las moléculas de agua explica muchas de sus propiedades, tales como: altos puntos de fusión y ebullición, flotabilidad del hielo, alto calor de vaporización, alto calor específico y alta tensión superficial.

Es sabido que el agua se presenta en estado natural en nuestro planeta, al mismo tiempo y en abundancia, en **tres estados**: sólido, líquido y gaseoso, mientras que otras sustancias permanecen en uno solo de estos estados (aunque en otra parte del universo, o en condiciones de laboratorio sea factible el cambio de fase).



Recordemos que un **sólido** se caracteriza por su forma y volumen propios; un **líquido** no tiene forma propia, pero sí un volumen definido; mientras que un **gas** no tiene forma ni volumen propios, sino que adopta los del recipiente que lo contiene. El estado físico o de agregación depende de las fuerzas de **atracción y repulsión** que hay entre las partículas que forman una sustancia. Si predominan las fuerzas de atracción, el estado es sólido, si predominan las de repulsión, el estado es gaseoso y si ambos tipos de fuerza están equilibrados, el estado es líquido.

Los estados de agregación son función de la **temperatura** y se suceden unos a otros a medida que la temperatura aumenta o disminuye en una sustancia dada. Si se eleva la temperatura de un sólido, hasta un determinado punto (punto de fusión) éste funde, convirtiéndose en líquido. Si se aumenta después la temperatura del líquido hasta cierto valor (punto de ebullición), entra en ebullición; más allá de este punto, la sustancia pasa al estado gaseoso. La temperatura es una medida del grado de agitación de las partículas que forman una sustancia, y por eso aumenta cuando éstas absorben calor, que es una forma de energía.

Ahora volvamos al agua. A una presión de 1 atm, su punto de fusión es de 0° C y su punto de ebullición de 100° C. Cuando se la compara con sustancias análogas, pero de mayor peso molecular, como el H<sub>2</sub>S, los valores correspondientes al agua resultan extremadamente más altos de lo esperado (los valores para el H<sub>2</sub>S son - 64° C y - 42° C, respectivamente). ¿Por qué los puntos de fusión y ebullición del agua son tan altos? Por los puentes de hidrógeno. Llevar al agua desde el estado sólido al líquido o de éste al gaseoso, requiere una gran cantidad de energía para liberar a las moléculas, ligadas entre sí por los puentes de hidrógeno. En conclusión, los puentes de hidrógeno son la causa de que el agua se encuentre en sus tres fases dentro de los límites de temperatura y presión naturales en la Tierra. De no ser por los

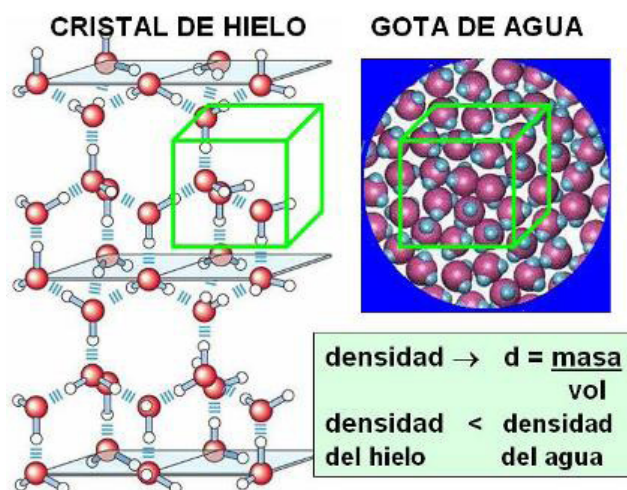
puentes de hidrógeno se esperaría que el agua fundiera a  $-100^{\circ}\text{C}$  y entrara en ebullición a  $-80^{\circ}\text{C}$ , lo cual haría imposible la vida tal como la conocemos.



Al estado sólido, cada molécula está unida a otras cuatro mediante sendos puentes de hidrógeno, extendidos hacia cuatro direcciones del espacio separadas por ángulos de  $105^{\circ}$ . Esta disposición determina la forma de un tetraedro, tal es la **estructura cristalina del hielo**. El cambio al estado líquido implica la ruptura de muchos puentes, que se hacen más transitorios, es decir que se rompen y vuelven a formarse entre otras moléculas con mucha rapidez. Al estado gaseoso, la mayor parte de los puentes desaparece, pero aún se conservan algunos de ellos.



Por regla general, toda sustancia, sea en estado sólido, líquido o gaseoso, se contrae o disminuye su volumen al enfriarse. El agua también sigue esta regla dentro de un amplio intervalo de temperatura. Partiendo de  $100^{\circ}$  y hasta llegar a  $4^{\circ}\text{C}$  el volumen disminuye en forma continua. A partir de los  $4^{\circ}\text{C}$  y hasta el punto de congelación, el proceso se invierte: en lugar de seguir contrayéndose, el agua se dilata. Esto obedece a que, al disminuir los movimientos moleculares, los puentes de hidrógeno se fijan, congelando a las moléculas en una red en la que las distancias entre una y otra son mayores. En la red cristalina del hielo, las moléculas están más separadas unas de otras que al estado líquido. Caben más moléculas en  $1\text{ cm}^3$  de agua líquida que en un  $1\text{ cm}^3$  de hielo. Dicho en otros términos: la **densidad** o relación masa/volumen del agua líquida es mayor que la densidad del hielo.



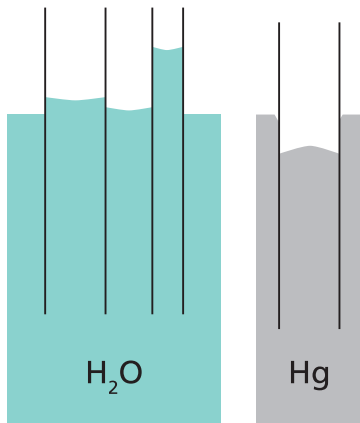
La menor densidad del hielo con respecto al agua líquida hace que el hielo flote. ¿Qué pasaría si el agua se comportara como otras sustancias y el hielo fuera más denso que el agua líquida? Los mares, ríos y lagos se congelarían desde el fondo a la superficie y gran parte del agua dejaría de estar disponible para los seres vivos. En cambio, la flotabilidad del hielo permite la continuidad de la vida debajo de la capa superficial congelada de los cuerpos de agua.

Otra de las propiedades inusuales del agua es su **alto calor específico**. El calor específico se define como la cantidad de calor que hay que entregar a 1 gramo de una sustancia para elevar 1 grado su temperatura. Si las fuerzas de atracción entre las moléculas de una sustancia son débiles, al absorber calor, rápidamente entrarán en agitación, produciendo un aumento de la temperatura. Si por el contrario, las fuerzas de atracción son fuertes, deberá entregarse una cantidad mayor de energía calórica para que las moléculas se separen y aumenten sus movimientos, con el consiguiente aumento de temperatura. Este último es el caso del agua, cuyas moléculas se mantienen fuertemente cohesionadas por los puentes de hidrógeno. Por eso el agua puede absorber grandes cantidades de calor sin que su temperatura aumente en forma significativa, o entregar grandes cantidades de calor sin que su temperatura descienda abruptamente. Por ejemplo, si se coloca una olla vacía sobre el fuego, pronto se pondrá al rojo, pero si se la llena de agua, en el mismo lapso, la temperatura del agua solo aumentará unos pocos grados. O la misma radiación solar impactando sobre el suelo arenoso y el agua, producirá un aumento de temperatura mucho más marcado sobre el suelo que sobre el agua. Un gramo de agua necesita 10 veces más calor que un gramo de hierro o 5 veces más calor que un gramo de arena para incrementar en el mismo valor su temperatura. Es decir, el agua tiene un calor específico igual a 10 veces el del hierro o 5 veces el de la arena. Con su alto calor específico, el agua posee un importante efecto moderador de la temperatura. Este efecto moderador no solo se pone en juego en el ambiente, sino también en el organismo, cuya mayor parte está constituida por agua.

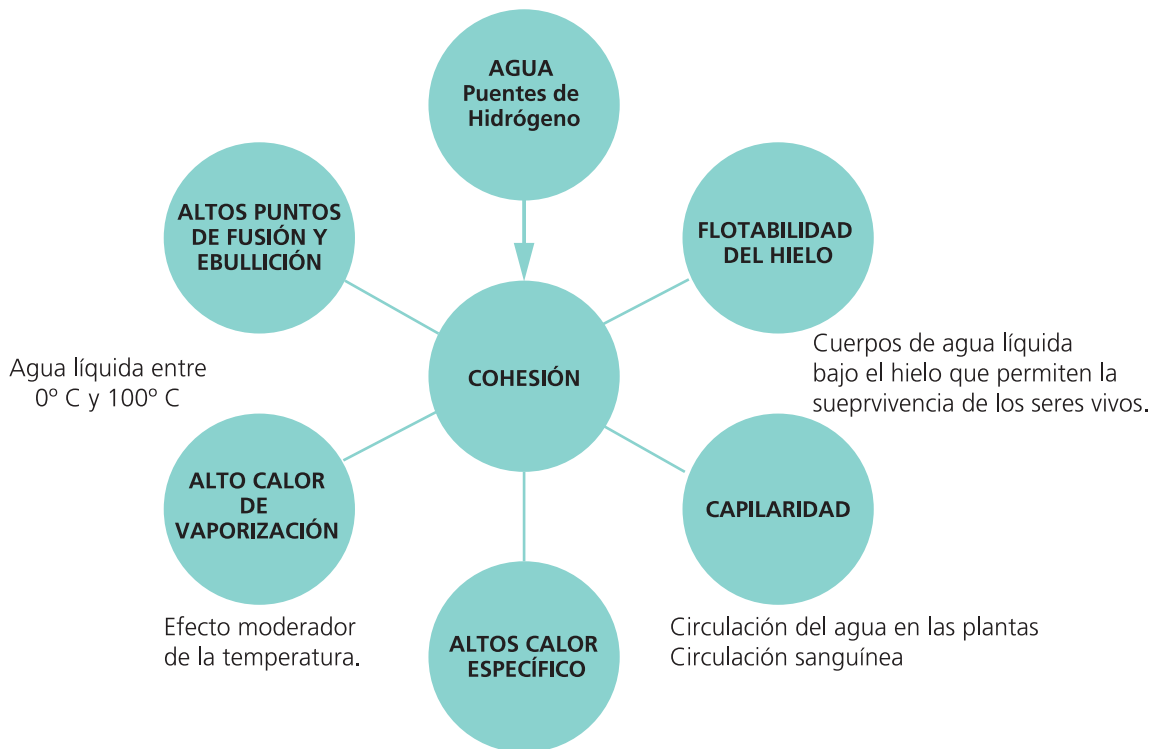
A la capacidad termorreguladora del agua contribuyen también su **alto calor de fusión y de vaporización**. Siempre que la temperatura de un sólido aumenta hasta alcanzar su punto de fusión, o la de un líquido, hasta alcanzar su punto de ebullición, se produce un proceso de transición, durante el cual ambas fases (sólido y líquido o líquido y vapor) coexisten. En este lapso, hasta que la fusión o vaporización se completan, se absorbe calor sin que varíe la temperatura. El valor del calor absorbido, en el caso del agua, es muy alto. Cuando en los días de alta temperatura ambiente el cuerpo transpira, el agua eliminada vaporiza sobre la piel, tomando de ésta el calor necesario para el proceso. Como el calor de vaporización es

alto, este fenómeno contribuye a retirar gran parte del calor corporal, colaborando en la regulación de la temperatura del cuerpo.

La marcada tendencia a la cohesión del agua hace que ésta tienda a “cerrarse” sobre sí misma. Por eso las gotas tienen forma esférica, ya que ésta es la forma que ofrece menor superficie para un volumen dado. La fuerte cohesión provoca que la superficie del agua se comporte como una película o membrana. Esa fuerza resultante de la cohesión recibe el nombre de tensión superficial. Con excepción del mercurio, el agua posee la **tensión superficial** más elevada de todos los líquidos comunes.



La cohesión sumada a la adhesión (unión de las moléculas de agua a otras superficies sólidas) da por resultado el fenómeno de **capilaridad**. La capilaridad es la capacidad del agua de elevarse en forma de columna por tubos capilares (de diámetro delgado como un cabello). Este fenómeno está relacionado con el movimiento del agua en los suelos, el transporte por los vasos de conducción de las plantas y la circulación de la sangre.



### Capacidad disolvente del agua: sustancias hidrofóbicas, hidrofílicas y anfipáticas

Dado que el agua es la sustancia más abundante en el organismo, es de suma importancia entender cómo interacciona con las otras sustancias, orgánicas o inorgánicas, que forman parte de un ser vivo. Según el comportamiento que las sustancias tengan frente al agua, aquellas pueden ser clasificadas en tres categorías: hidrofóbicas, hidrofílicas y anfipáticas.



El término **hidrofóbica** significa “que teme al agua”. Las sustancias hidrofóbicas son aquellas que, debido a su estructura química, no tienen afinidad por el agua. Esto ocurre cuando la sustancia es apolar o no polar. Un ejemplo por todos conocidos es el del aceite, que no forma mezclas con el agua. Cuando este tipo de sustancias se coloca en un medio acuoso, tienden a agruparse entre sí, “huyendo” del agua y ofreciendo a ésta la menor superficie de contacto posible. A ese comportamiento se lo denomina interacción hidrofóbica.

Las sustancias **hidrofilicas** son las que tienen “amor por el agua”. Se trata de compuestos con algún tipo de polaridad, ya sean iónicos (con carga neta) o polares sin carga neta, pero con densidad de carga. Este tipo de sustancias son atraídas por las moléculas de agua, también polares, y se mezclan con ellas formando distintas clases de sistemas dispersos: soluciones, dispersiones coloidales y suspensiones.

Existen compuestos en los cuales una parte de la molécula es polar (con densidad de carga o incluso con carga neta), pero otra parte de la misma molécula es no polar. Por consiguiente, una parte de la molécula es afín al agua o hidrofílica, mientras que la otra rechaza al agua, es hidrofóbica. Cuando zonas hidrofílicas e hidrofóbicas conviven en la misma molécula, se dice que ésta es una **molécula anfipática** (con ambos tipos de afinidad). Las moléculas anfipáticas tienen un comportamiento especial en medios acuosos, donde se disponen formando estructuras en forma de bicapas o micelas. Dichas estructuras son de gran importancia en la organización de las membranas y otros procesos biológicos y serán analizadas más adelante.

Es una expresión frecuente referirse al agua como “un solvente universal”. De lo recientemente expuesto se desprende que el agua no disuelve a todas las sustancias, pero sí que forma soluciones o dispersiones con una gran cantidad de ellas. Esta fuerte capacidad disolvente o al menos dispersante del agua es la que la convierte en el medio ideal para muchas funciones orgánicas:

- es el medio en el que otras sustancias se encuentran y reaccionan, es decir el medio en el que transcurre el metabolismo,
- es el vehículo de los nutrientes y otras sustancias en la sangre,
- es el disolvente de los productos de desecho que excretamos en la orina o el sudor.

Incluso lo que a primera vista pareciera un desventaja, como la incapacidad del agua de mezclarse con las sustancias hidrofóbicas, tiene útiles consecuencias, como veremos al tratar el tema de los depósitos grasos.

## Concentración

Los líquidos corporales son soluciones en las cuales es necesario mantener la concentración de determinados solutos dentro de ciertos valores, para que las funciones orgánicas se lleven a cabo adecuadamente.

Se entiende por **concentración (c)** de una solución a la relación existente entre la cantidad del soluto (st) y la cantidad del solvente (sv) o de la solución (sn).

Esta relación puede expresarse de distintas formas, por ejemplo:

masa de soluto/volumen de solvente	$c = 10\text{g de sacarosa} / 1\text{l de agua}$
masa del soluto/volumen de la solución	$c = 10\text{ g de sacarosa} / 1\text{l de sn (el volumen total que ocupan el soluto y el solvente)}$
porcentaje masa / volumen = %m/v	$c = \text{g de st} / 100\text{ cm}^3\text{ de sn}$
Molaridad = M	$M = \text{N}^\circ\text{ de moles de st} / \text{l de sn}$
Molaridad = m	$m = \text{N}^\circ\text{ de moles de st} / \text{kg de sv}$
Osmolaridad	$c = \text{N}^\circ\text{ de osmoles de st} / \text{l de sn}$
Osmolalidad	$c = \text{N}^\circ\text{ de osmoles de st} / \text{kg de sv}$

La molaridad, molalidad, osmolaridad y osmolalidad son formas de expresar la concentración en número de partículas disueltas y no en masa de partículas disueltas.

## Disociación del agua y Potencial de Hidrógeno (pH)

La disociación o ionización del agua es una reacción reversible en la cual una molécula de agua se separa en dos iones: un grupo hidroxilo y un protón. En la disociación del agua, la unión covalente polar entre el átomo de oxígeno y uno de los hidrógenos se rompe. Los dos electrones antes compartidos son retenidos por el oxígeno. Así, el grupo atómico formado por el oxígeno y el otro hidrógeno (que permanecen unidos covalentemente), adquiere un electrón extra, convirtiéndose en un anión con una carga negativa; ese anión es el grupo hidroxilo. Por otro lado, queda un átomo de hidrógeno desprovisto de su electrón, lo que equivale a decir un núcleo de hidrógeno, o simplemente, un protón.

El agua tiene una baja tendencia a ionizarse. Como al ionizarse una molécula de agua se obtienen un  $\text{OH}^-$  y un  $\text{H}^+$ , la concentración de ambos iones en el agua pura es la misma y es igual a  $10^{-7}$  moles / l.

[ ] = concentración  
En el agua pura:  $[\text{OH}^-] = [\text{H}^+] = 10^{-7}\text{ mol/l}$

En química se utiliza la magnitud Potencial de hidrógeno o pH para indicar la concentración de protones  $[\text{H}^+]$  o grado de acidez de un medio. El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de protones.

Potencial de hidrógeno =  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$   
Para el agua pura  $\rightarrow \text{pH} = 7$

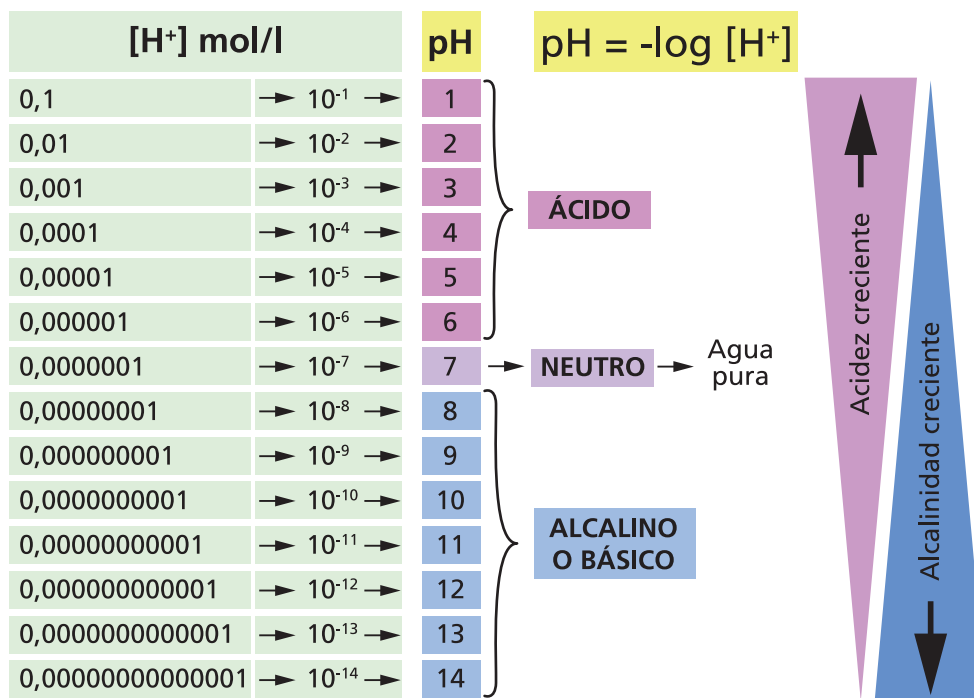
La escala de pH va de 1 a 14. El valor 7 corresponde a un medio neutro; un valor inferior a 7, a un medio ácido y un valor por encima de 7, a un medio básico o alcalino.



Al elegir el pH como expresión de la concentración de protones o acidez de un medio, cuantos mayores son éstas, menor resulta el valor de pH. Por ejemplo, comparemos los medios A y B.

Para A  $\rightarrow [H^+] = 0,001 \text{ mol/l} = 10^{-3} \text{ mol/l} \rightarrow \text{pH} = 3$   
 Para B  $\rightarrow [H^+] = 0,0001 \text{ mol/l} = 10^{-4} \text{ mol/l} \rightarrow \text{pH} = 4$

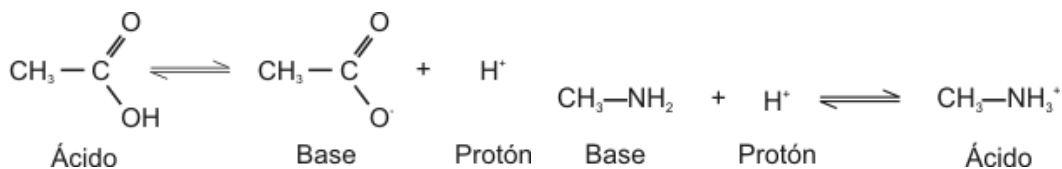
El medio A es más ácido y tiene una concentración de protones 10 veces mayor que la del medio B.



## Ácidos y Bases

Un **ácido** es una sustancia que, en solución acuosa, tiende a disociarse liberando un protón.

Una **base o álcali** es una sustancia que, en solución acuosa, capta protones del medio. Los ácidos y las bases se catalogan como **fuertes o débiles** según su mayor o menor tendencia a ceder o captar protones, respectivamente.



Lo que resta de la molécula de ácido, después de la cesión del protón, es su **base conjugada**. Si el ácido es fuerte, su base conjugada es débil y viceversa. De la misma manera, el catión que se forma cuando una base ha captado un protón del medio, es el **ácido conjugado** de aquélla. Si la base es fuerte, su ácido conjugado es débil, y viceversa.

Hemos mencionado que, en el agua pura, la concentración de protones es igual a la de hidroxilos. Cuando al agua se le agrega un ácido, la concentración de protones supera a la de hidroxilos, porque a los liberados por el agua disociada se les suman los protones liberados por el ácido. De modo inverso, cuando al agua se le agrega una base, ésta capta protones libres. Por lo tanto, la concentración de hidroxilos va a superar a la de protones. Entonces:

Medio neutro	$[H^+] = [OH^-]$	Medio ácido	$[H^+] > [OH^-]$	Medio básico	$[H^+] < [OH^-]$
--------------	------------------	-------------	------------------	--------------	------------------

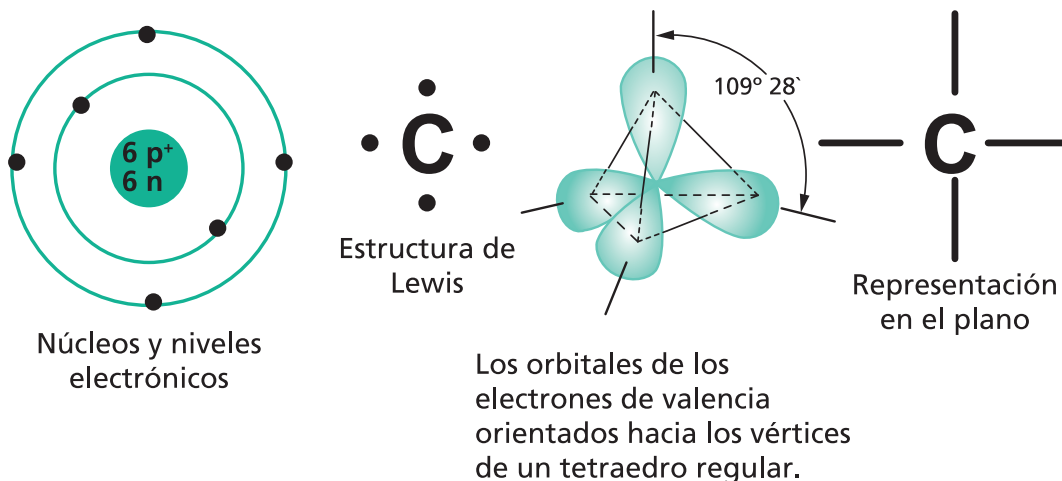
### Buffers o amortiguadores del pH

Los valores de pH en diferentes compartimentos del organismo deben ser mantenidos dentro de rangos muy estrechos, para que el metabolismo se lleve a cabo adecuadamente. Pequeñas desviaciones en el pH sanguíneo causan la muerte. Para compensar esas desviaciones del pH, tanto en la sangre como en la célula existen los buffers o amortiguadores. Un **buffer** es un moderador del pH que está compuesto por un **par conjugado ácido/base**. Al contener el ácido y la base, el buffer puede ceder o captar protones según las circunstancias, retornando el pH a sus valores normales.

## COMPUESTOS ORGÁNICOS: GENERALIDADES

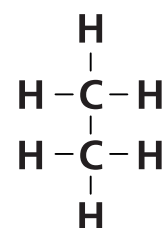
Los compuestos orgánicos son derivados del elemento carbono. Con número atómico 6, el átomo de carbono presenta 2 electrones en el nivel 1 y 4 electrones en el nivel 2, que es su nivel más externo. Por lo tanto, el carbono se estabiliza estableciendo 4 uniones covalentes. Las 4 valencias o posibilidades de unión del carbono se orientan en el espacio hacia los vértices de un imaginario tetraedro regular, cuyo centro está ocupado por el núcleo del átomo. No obstante esta orientación en el espacio, las uniones del carbono se representan gráficamente como si se hallaran sobre un mismo plano.

### El átomo de Carbono

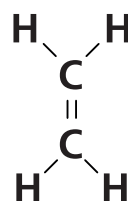




Cuando todos los enlaces entre carbonos son simples, el compuesto está saturado de hidrógeno. Si existen dobles o triples enlaces entre carbonos, la cantidad de hidrógeno es menor y el compuesto es insaturado.



compuesto saturado  
(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)



compuesto insaturado  
(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)

La enorme variedad de compuestos orgánicos deriva de los hidrocarburos, mediante sustitución de uno o más hidrógenos por otros átomos o grupos atómicos (por eso a los átomos o grupos atómicos distintos del hidrógeno que están unidos a un carbono se los suele llamar “sustituyentes”).

Se denomina **grupo funcional** a los átomos o grupos atómicos que, unidos a los carbonos de los compuestos orgánicos, son determinantes de las propiedades físico-químicas de los compuestos que los portan.

Una familia de compuestos con el mismo grupo funcional y, por lo tanto, con similares propiedades, recibe el nombre de función química. A los compuestos que pertenecen a la misma función química, en muchos casos, se los nombra agregando a la raíz de su nombre un sufijo que los identifica como tales.

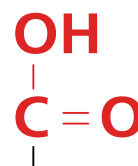
### Grupos Funcionales



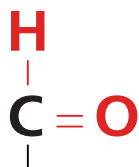
GRUPO HIDROXILO  
Función: Alcohol  
Sufijo: “OL”



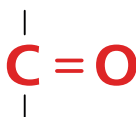
GRUPO AMINO  
Función: Amino  
Sufijo: “AMINA”



GRUPO CARBOXILO  
Función: Ácido orgánico  
Sufijo: “OICO”



GRUPO CARBONILO PRIMARIO  
Función: Aldehido  
Sufijo: “AL”



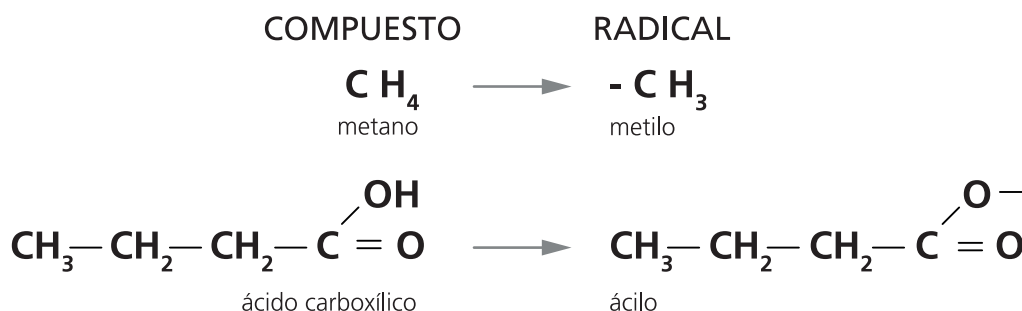
GRUPO CARBONILO SECUNDARIO  
Función: Cetona  
Sufijo: “ONA”



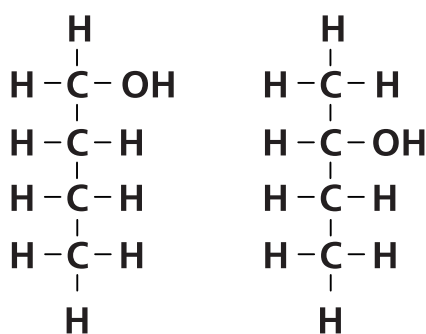
GRUPO SULFHIDRILO  
Función: Tíol

Muchas veces en química orgánica se hace referencia a los **radicales** (R). Se entiende por radical a un grupo atómico que tiene un electrón sin compartir (una valencia libre). Los

radicales llevan el nombre del compuesto o la función de la cual derivan, cambiando la terminación por el sufijo “ilo”. Por ejemplo, el radical derivado del metano es el “metilo” o el derivado de un ácido orgánico, un “ácilo”.

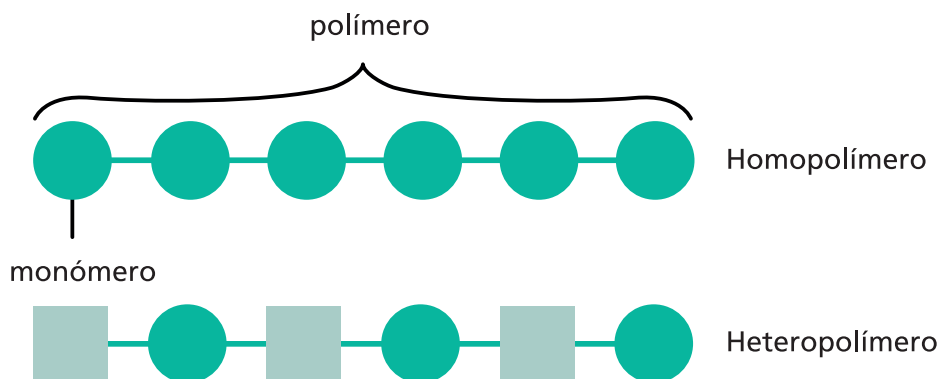


En química orgánica es muy común el fenómeno de isomería: la existencia de dos o más sustancias con la misma fórmula molecular, pero con diferentes propiedades. Estas sustancias son **isómeros** (iso: igual, mero: parte). Las moléculas de los isómeros están formadas por los mismos átomos, aunque distribuidos de distinta forma en el espacio.



ISÓMEROS

Muchas de las moléculas orgánicas de importancia biológica tienen estructura de **polímero**. Un polímero (poli: mucho, mero: parte) es una molécula formada por un número grande de una o más moléculas “unidad”, a las que se llama monómeros (mono: uno). Existen homopolímeros (homo: igual) formados por la unión química de monómeros idénticos y heteropolímeros (hetero: distinto) que se obtienen por la unión de monómeros diferentes.

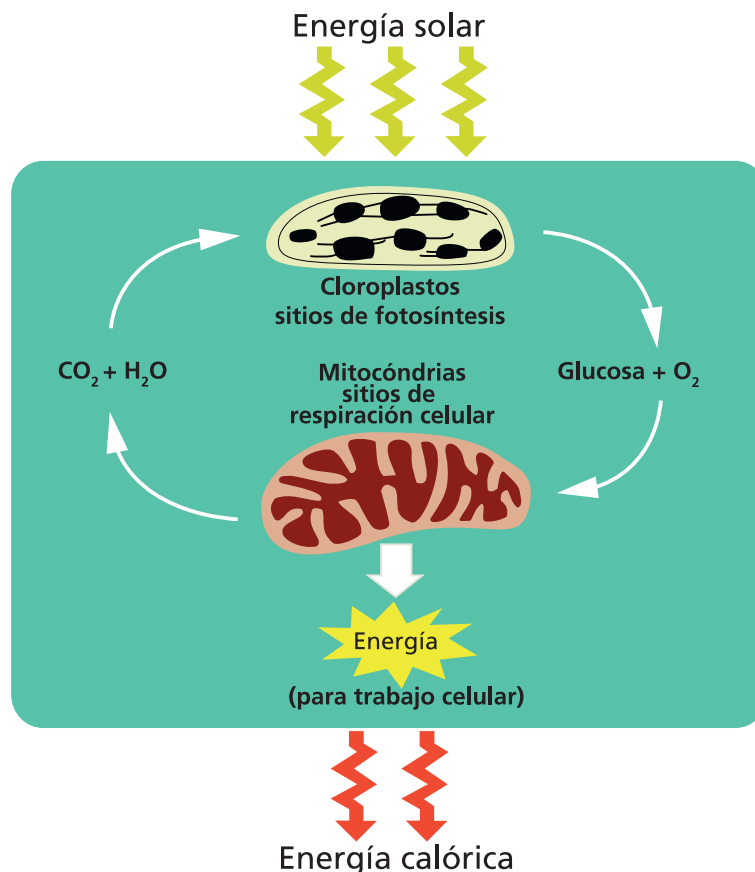


## GLÚCIDOS O HIDRATOS DE CARBONO

### Definición y origen

Los glúcidos, también llamados carbohidratos o hidratos de carbono, son compuestos orgánicos constituidos por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). Pueden definirse como polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas y sus derivados. Los más simples son dulces y solubles en agua. Los de alto PM forman dispersiones coloidales o bien no se dispersan, aunque todos ellos son muy hidrofílicos.

Las plantas elaboran y almacenan glúcidos como su principal fuente de energía. En los cloroplastos de las hojas, en presencia de clorofila, absorben luz solar y unen el dióxido de carbono del aire y el agua del suelo para formar glucosa, un glúcido esencial. De este proceso, la fotosíntesis, se libera oxígeno (O<sub>2</sub>) a la atmósfera, como producto secundario.



El carbohidrato sintetizado en la fotosíntesis se utiliza para formar glúcidos más complejos y otros compuestos orgánicos. Cuando los animales los consumen, estos compuestos son la base de la vida animal. En consecuencia, se podría decir que el sol proporciona la energía para toda la materia viviente.

En las mitocondrias, los vegetales y los animales recuperan la energía encerrada en dichos compuestos, metabolizándolos con la adición de oxígeno, durante la respiración celular. Así forman los subproductos agua y dióxido de carbono, necesarios para que las plantas inicien nuevamente el ciclo.

## Clasificación

Los glúcidos se clasifican en monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Los primeros son los más simples. Los oligosacáridos y los polisacáridos derivan de los glúcidos simples.

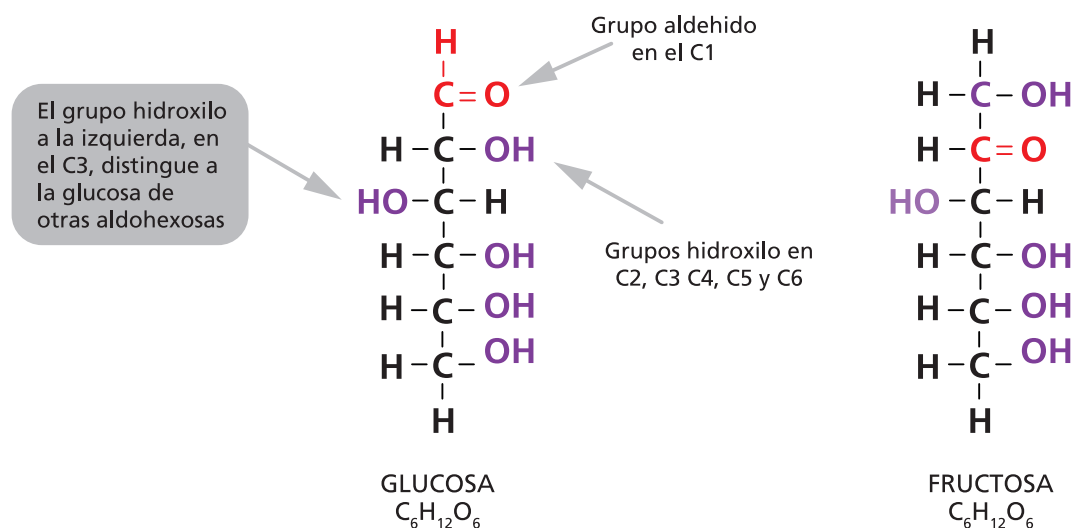
## Monosacáridos

Los monosacáridos (mono: uno, unidad; sacárido: azúcar) son sustancias de sabor dulce, solubles en agua, formadas por cadenas de 3 a 7 átomos de carbono. Responden a la fórmula general  $C_n(H_2O)_n$ , es decir que por cada átomo de carbono tienen dos de hidrógeno y uno de oxígeno, lo que les valió el nombre de “hidratos de carbono”.

Los monosacáridos, entonces, se clasifican del siguiente modo:

Clasificación de los monosacáridos		
Según el N° de C en la cadena	3	Triosas
	4	Tetrosas
	5	Pentosas
	6	Hexosas
	7	Heptosas
Según el grupo carbonilo	Aldehído	Aldosas
	Cetona	Cetosas

Las hexosas son los monosacáridos más abundantes en la naturaleza, entre ellos la **glucosa** (una aldohexosa), el azúcar que circula en sangre y combustible celular por excelencia y la **fructosa** (una cetohehexosa), azúcar presente en los frutos y la miel.



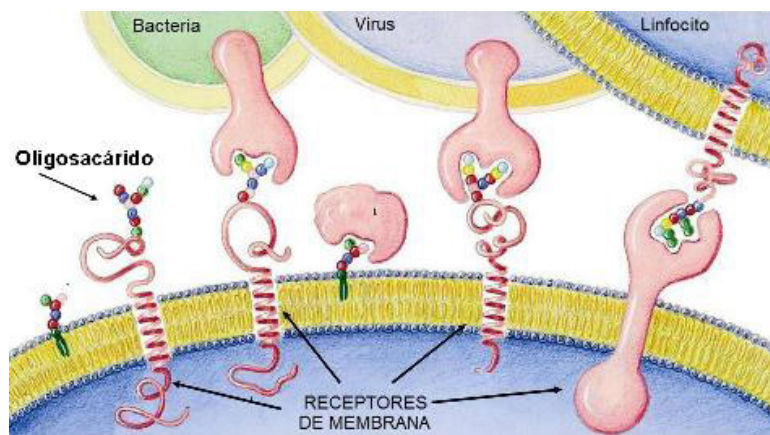
## Oligosacáridos

Los oligosacáridos (oligo: poco; sacárido: azúcar) se obtienen de la unión glicosídica de entre 2 y 10 monosacáridos. Los disacáridos y los trisacáridos son azúcares, pues conservan el sabor dulce.

Los oligosacáridos más representados en la naturaleza son los **disacáridos**. Entre ellos, la maltosa o azúcar de malta, ya mencionada; la sacarosa o azúcar de caña, transportada por las plantas a través de sus tallos y utilizada en la alimentación humana; y la lactosa o azúcar de leche. En los tres la glucosa es, cuando menos, uno de sus componentes:

Disacárido	Unidades	Ubicación
<b>Maltosa</b>	alfa-glucosa + alfa-glucosa	Producto de la hidrólisis del almidón
<b>Sacarosa</b>	alfa-glucosa + beta-fructuosa	Azúcar de caña
<b>Lactosa</b>	alfa-glucosa + beta-fructuosa (otra aldohexosa)	Azúcar de leche

Otros oligosacáridos de mucha significación para los seres vivos son los **oligosacáridos de membrana**, compuestos ramificados, presentes en las membranas celulares, donde forman parte de estructuras receptoras.



## Polisacáridos

Los polisacáridos son polímeros, pues constan de numerosas unidades de monosacáridos unidas por enlaces glicosídicos.

Los polisacáridos pueden ser homopolisacáridos, cuando están formados por una sola clase de monómero, o heteropolisacáridos, originados por la repetición de dos monómeros distintos, que se alternan en la cadena del polímero.

Los **heteropolisacáridos** son muy importantes por su papel estructural en la matriz extracelular de los tejidos conectivos. Se caracterizan porque uno de los monómeros suele ser un derivado de monosacáridos, por ejemplo azúcares con grupo amino, sulfato o ácido.

En cuanto a los homopolisacáridos, los más abundantes son polímeros de glucosa (glucanos o glucosanos); también hay polímeros de fructosa (fructosanos) o de manosa, otra aldohexosa (mananos). **El almidón, el glucógeno y la celulosa son glucanos** de gran importancia biológica. Para el hombre, además de los azúcares, el almidón y la celulosa son los hidratos de carbono de mayor presencia en la alimentación. El almidón se digiere en el tubo digestivo, hidrolizándose por completo a glucosa, la cual se incorpora al torrente sanguíneo. Aunque la celulosa consiste también en unidades de glucosa, no puede ser hidrolizada a su monómero absorbible en el intestino del hombre. A medida que las moléculas de celulosa avanzan por el tubo digestivo para ser eliminadas, cumplen una función útil: forman volu-



men, lo que favorece la evacuación intestinal. Sin embargo, todas las moléculas de glucosa que contiene no están disponibles para la producción de energía. Los animales herbívoros, en cambio, pueden aprovechar la energía que encierra la celulosa, gracias a que poseen en su tubo digestivo una flora microbiana con las enzimas necesarias para hidrolizarla.

## LÍPIDOS

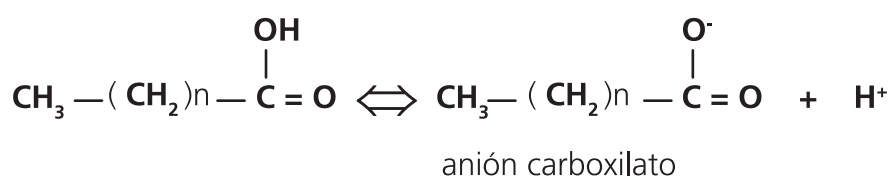
### Definición

Los lípidos son un grupo heterogéneo de sustancias, cuyo carácter común es su insolubilidad en agua y su solubilidad en compuestos orgánicos como éter, benceno y cloroformo.

### Ácidos grasos

Son los lípidos más simples. Aunque se los halla en pequeña cantidad en estado libre en los organismos, su importancia radica en que forman parte de las moléculas de la mayoría de los lípidos. Los ácidos grasos (AG) son ácidos orgánicos, monocarboxílicos, que, salvo contadas excepciones, presentan una cadena hidrocarbonada lineal y número par de átomos de carbono.

El grupo carboxilo es un **ácido débil**, con baja tendencia a la disociación. En medio acuoso, los aniones carboxilato pueden formar emulsiones (dispersiones de líquido en líquido), agrupándose en pequeñas gotas llamadas **micelas**. Por su carácter anfipático, en cada micela los aniones de AG se ubican orientando sus colas hidrofóbicas hacia el interior de la micela, mientras que las cabezas polares se ponen en contacto con el agua circundante. Estas emulsiones son más estables si el AG forma un compuesto iónico o una sal con un metal, por ejemplo el Na<sup>+</sup>. Las sales de AG se denominan jabones.



Los ácidos grasos reaccionan con el glicerol, un triple alcohol, formando ésteres de glicerol o acilgliceroles. Cada molécula de glicerol puede reaccionar con una, dos, o tres moléculas de ácido graso, dando origen a un monoacilglicerol, un diacilglicerol o un triacilglicerol, respectivamente. La unión entre glicerol y ácido graso es una unión éster (nombre genérico de la unión entre alcohol y ácido) y se forma por condensación, es decir con liberación de una molécula de agua.

Entonces:



Los **triacilgliceroles** son los más abundantes, y se los conoce como **triglicéridos o grasas neutras**.

Los triglicéridos generalmente son mixtos, esto es: están formados por mezclas de ácidos grasos distintos. Los triglicéridos en los que predominan los ácidos grasos saturados son sólidos o pastosos a temperatura ambiente y se denominan **grasas**. Cuando predominan los ácidos grasos insaturados, los triglicéridos son líquidos a temperatura ambiente y reciben el nombre de **aceites**.

Algunas plantas reservan aceites en sus frutos o semillas. Las grasas, en cambio, son productos típicamente animales. Los animales utilizan las grasas como su principal depósito de energía a largo plazo. Depósito que, por otra parte, es ilimitado.

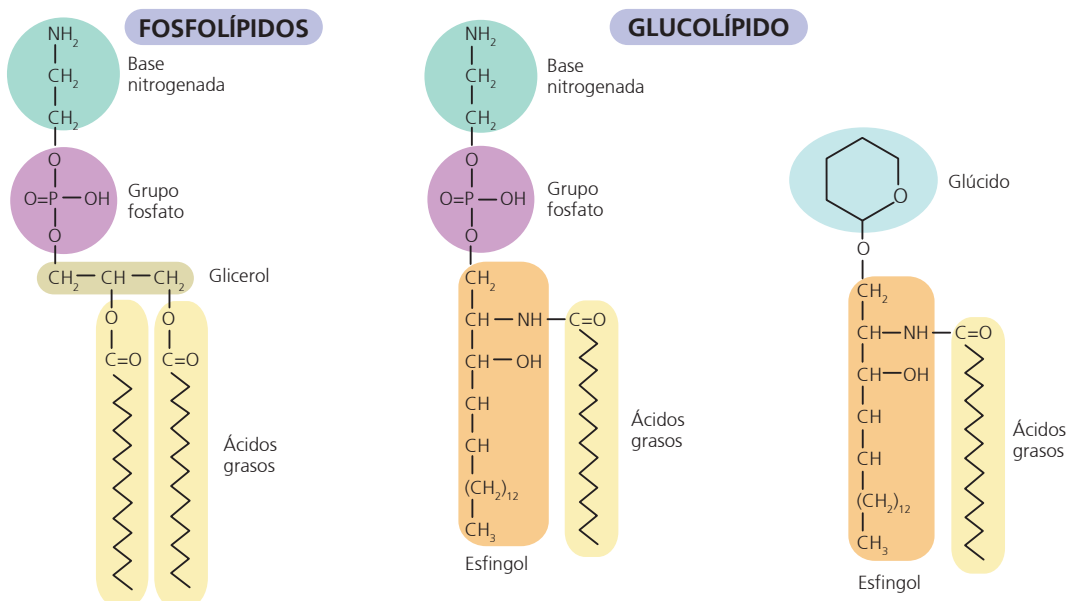
¿Por qué el principal depósito de energía en los animales es la grasa y no el glucógeno (almidón animal)? En primer lugar, cuando se oxidan, las grasas proporcionan 9 Kcal/g, frente a las 4 Kcal/g que rinden los glúcidos. La densidad energética de las grasas es mucho mayor que la de los glúcidos. En segundo lugar, los glúcidos son muy hidrofílicos. Esto significa que en un depósito de almidón o glucógeno hay un peso extra debido al agua que acumulan, el cual no rinde energía. Para las plantas, un depósito pesado no es problema porque no se trasladan. Pero para un animal que se desplaza, un depósito muy grande de glúcidos sería un lastre imposible de acarrear.

### Fosfolípidos y Glucolípidos

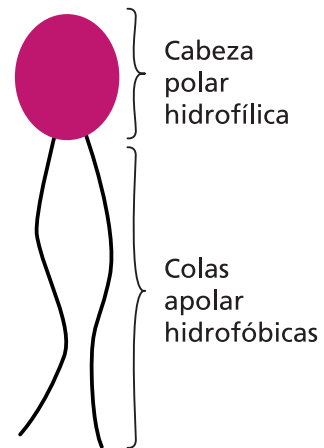
Los fosfolípidos pueden derivar del **glicerol** o de otro alcohol llamado **esfingol**. Los glicerofosfolípidos son ésteres de glicerol con dos ácidos grasos y un ácido fosfórico. Contienen además una base nitrogenada.

Los esfingofosfolípidos están compuestos por esfingol unido a un ácido graso (formando ceramida), ácido fosfórico y una base nitrogenada.

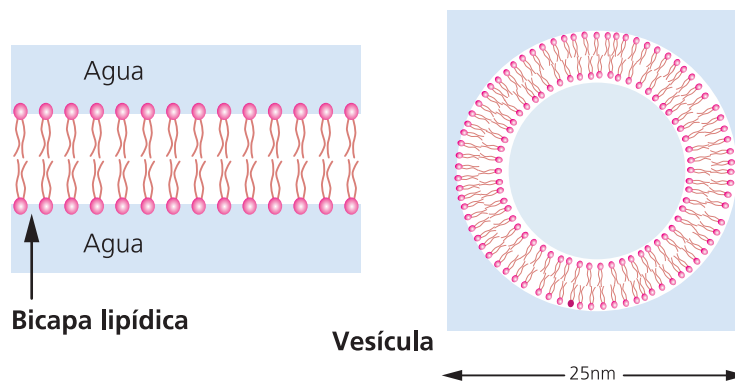
Los glucolípidos se forman a partir de la ceramida, que se une a un glúcido, el cual puede ser glucosa, galactosa o bien un oligosacárido.



Tanto los **fosfolípidos** como los **glucolípidos** son moléculas **anfipáticas**. Llevan una “cabeza” que corresponde a sus grupos polares y es hidrofílica, y dos “colas” hidrofóbicas, correspondientes a sus partes no polares. Al igual que los ácidos grasos, pueden formar micelas. Sin embargo, su propiedad más importante es la posibilidad de formar bicapas, que se cierran sobre sí mismas, cuando se encuentran en un medio acuoso. En una bicapa, estos lípidos se ubican con sus cabezas orientadas hacia el agua y sus colas enfrentadas, de modo que escapan del agua. Además, las bicapas se cierran, para no exponer al agua sus superficies laterales hidrofóbicas. Así forman pequeños sacos o vesículas. Debido a su comportamiento frente al agua, los fosfolípidos y los glucolípidos son los compuestos ideales para formar el límite de la célula, una estructura rodeada de agua y con un contenido acuoso. En efecto, las membranas celulares son, básicamente, bicapas lipídicas.



Así fosfolípidos y glucolípidos no cumplen una función energética, sino estructural.



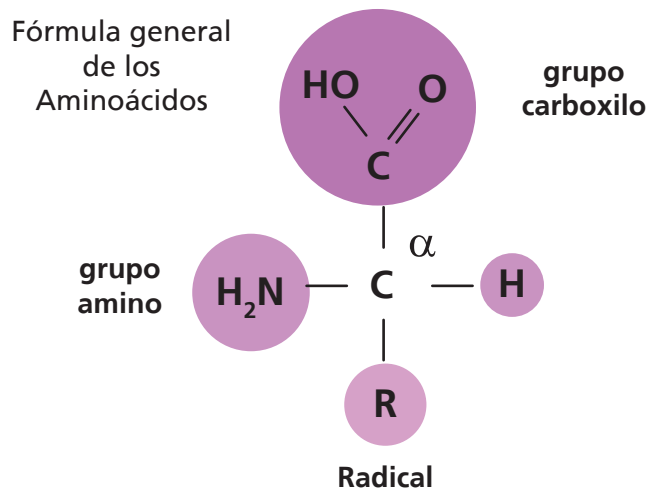
## PROTEÍNAS

### Definición

Son polímeros lineales de L-aminoácidos unidos mediante enlace peptídico. Las proteínas son macromoléculas muy versátiles, que desempeñan tanto funciones estructurales como dinámicas.

### Aminoácidos

Los aminoácidos son las moléculas unitarias, los monómeros de las proteínas. Todos los aminoácidos tienen una estructura común, que consiste en un átomo de carbono, el carbono alfa unido a un grupo carboxilo, un grupo amino y un átomo de Hidrógeno. La cuarta valencia del carbono alfa se completa con un grupo atómico de estructura variable, al que identificaremos como R (por Radical).



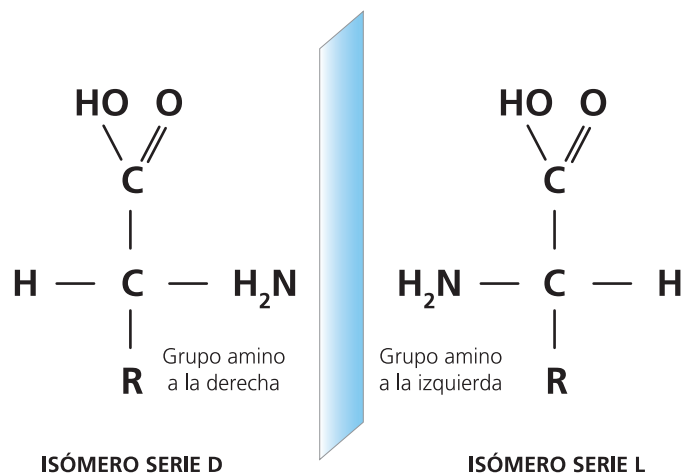
En el aminoácido de estructura más sencilla, la glicina, el R es un átomo de Hidrógeno.

Exceptuando la glicina, en todos los demás aminoácidos el carbono alfa es un carbono asimétrico o quiral. Así se denomina a los átomos de carbono unidos a cuatro grupos atómicos diferentes.

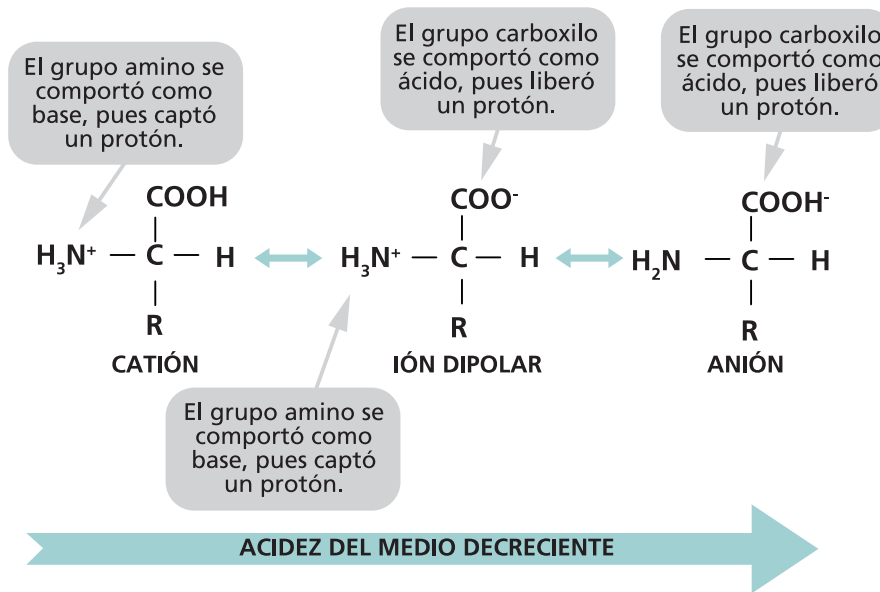
Las moléculas que, como los aminoácidos, tienen carbonos asimétricos, presentan isomería óptica. Es decir, por cada carbono asimétrico existen dos formas isoméricas, llamadas isómeros ópticos, que son imágenes especulares una de la otra. Los isómeros ópticos pertenecen a las series D o L. Los aminoácidos utilizados por los seres vivos son siempre de la serie L. Éstos se representan con el grupo amino ubicado a la izquierda.

En solución acuosa, los aminoácidos por lo general tienen **carga eléctrica**, ya que tanto el grupo amino como el carboxilo son ionizables. El grupo amino es básico y adquiere carga positiva cuando capta un protón. El grupo carboxilo, en tanto ácido, puede ceder un protón y adquirir carga negativa. Según la concentración de protones libres disponibles en el medio donde se encuentre (según el pH), el aminoácido será un catión, un anión, o un ión dipolar, si ambos grupos se ionizan simultáneamente.

### Isomería óptica



Se dice que los aminoácidos son anfóteros o anfóteros, pues tienen la capacidad de comportarse como bases o como ácidos; esta capacidad los faculta para actuar como amortiguadores del pH.

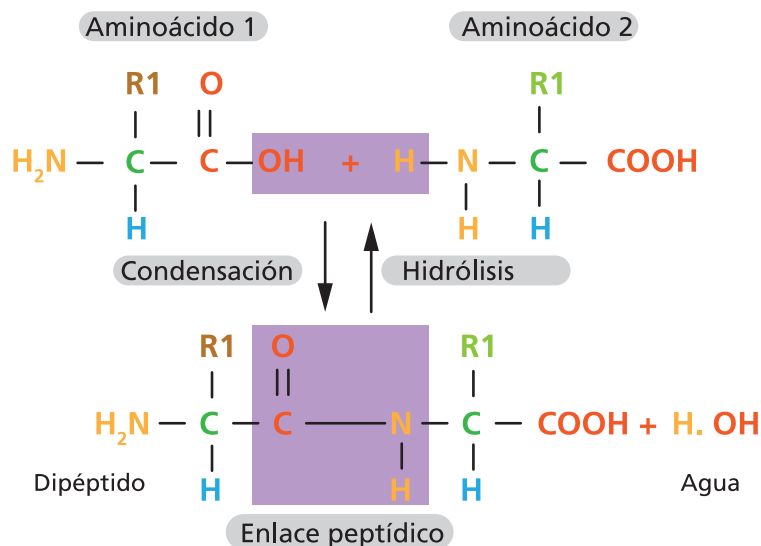


El grupo R o **Radical** de los aminoácidos es diferente para cada uno de ellos. Existen 20 radicales diferentes; por lo tanto, 20 clases de aminoácidos distintos forman las proteínas. Si bien los 20 aminoácidos son necesarios, hay 8 de ellos que la especie humana no puede sintetizar y debe adquirir con la alimentación; son los llamados aminoácidos **esenciales**.

Según la composición de sus radicales, los aminoácidos se clasifican en apolares, polares con densidad de carga y polares con tendencia a ionizarse, es decir, con tendencia a adquirir carga neta. Entre los últimos están los aminoácidos básicos y los ácidos, que son los que llevan otro grupo amino o carboxilo, respectivamente, en su radical.

### Enlace peptídico

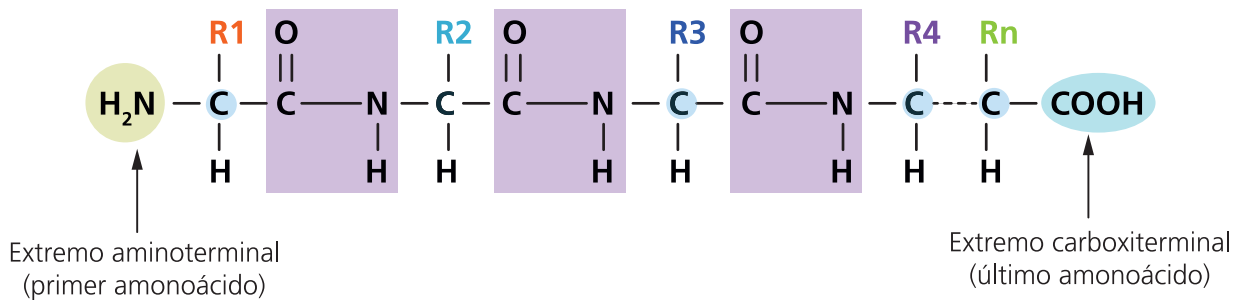
Es el enlace que establecen entre sí los aminoácidos. El enlace peptídico se produce al reaccionar el grupo amino de un aminoácido con el grupo carboxilo de otro aminoácido. Los aminoácidos así combinados se llaman restos o residuos de aminoácidos. Al formarse la unión peptídica se desprende una molécula de agua. De manera que la reacción en la cual se enlazan los aminoácidos es una condensación. La inversa, en la cual el enlace peptídico se rompe y se obtienen aminoácidos libres, es una hidrólisis.



## Péptidos

Una cadena que contiene dos o más residuos de aminoácidos es un péptido. Hasta diez residuos se la llama oligopéptido y por encima de diez residuos, polipéptido. Una proteína es un polipéptido de alto peso molecular, pero el límite entre ambos es arbitrario y varía según los autores.

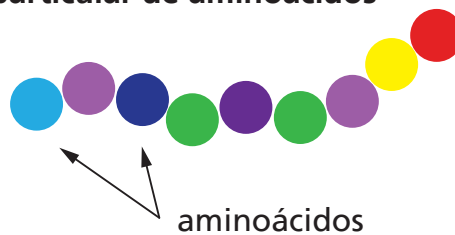
Los péptidos presentan dos extremos distintos: el N-terminal y el C-terminal. El N-terminal es el que tiene un residuo de aminoácido con grupo amino libre; este residuo es considerado el primero de la cadena. El extremo C-terminal es el que tiene un residuo de aminoácido con el grupo carboxilo libre; éste es considerado el último residuo de la cadena.



## Niveles estructurales de las proteínas

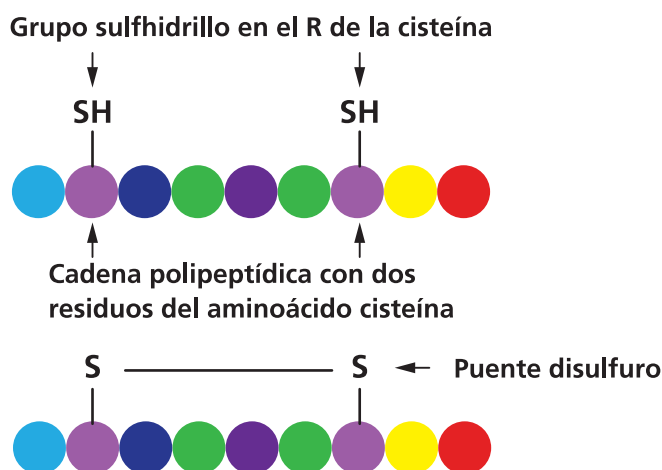
Todas las proteínas son cadenas de alto peso molecular formadas por residuos de aminoácidos. ¿En qué se diferencia una proteína de otra? Las proteínas se diferencian, en primer lugar, por el número, tipo y orden de los aminoácidos que constituyen su cadena. La secuencia de aminoácidos que presenta una proteína particular se denomina **estructura primaria**.

**Cada proteína tiene una secuencia particular de aminoácidos**



En algunas proteínas hay más de un residuo del aminoácido cisteína, que lleva un grupo sulfhidrilo en su radical. Dos residuos de cisteína pueden establecer una unión covalente entre los átomos de azufre, el puente disulfuro. La posición de los puentes disulfuro, cuando están presentes, forma parte de la estructura primaria.

Además de una secuencia particular de aminoácidos, las proteínas se pliegan sobre sí mismas, adoptando una estructura espacial determinada, o **conformación nativa**. Cada proteína adopta siempre la misma conformación nativa, si las condiciones del medio lo permiten. Esto indica que la forma de una proteína depende de su estructura primaria.



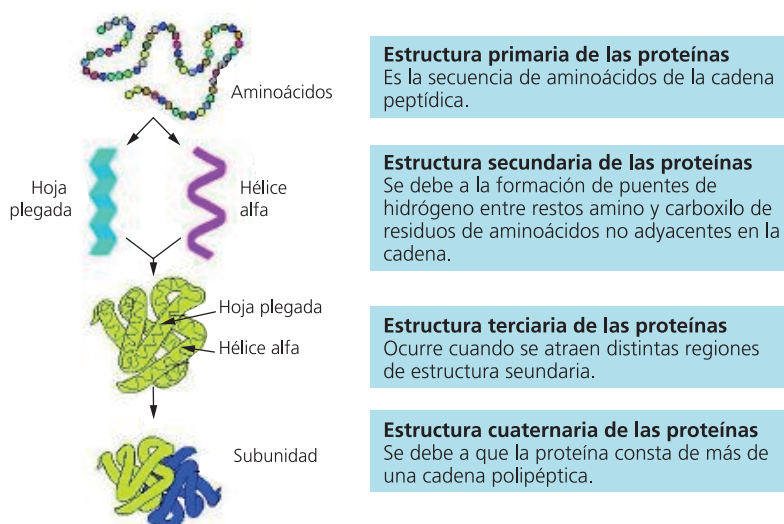
El primer nivel de plegamiento de una proteína es su **estructura secundaria**. La estructura secundaria puede ser regular, como la alfa hélice o la hoja plegada beta, o no seguir un patrón regular, en cuyo caso es de tipo aleatoria.

Las estructuras secundarias se originan porque se establecen uniones puentes de hidrógeno entre los restos amino y carboxilo de aminoácidos que están relativamente distantes en la estructura primaria, produciendo así un acercamiento entre ellos.

La **estructura terciaria** es la disposición global que adoptan en el espacio las distintas regiones de una proteína, después de haber adquirido su estructura secundaria. Esta disposición depende de interacciones que se establecen entre radicales, en general bastante alejados en la estructura primaria. Entre dichas interacciones se cuentan: uniones iónicas, puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas (todas ellas uniones no covalentes) y puentes disulfuro.

Algunas proteínas tienen **estructura cuaternaria**. Esta estructura se alcanza cuando la proteína está formada por dos o más cadenas polipeptídicas unidas entre sí por uniones no covalentes entre los radicales. A cada una de las cadenas que constituyen la proteína se le da el nombre de protómero o subunidad. Las proteínas de estructura cuaternaria también se conocen como proteínas oligoméricas.

### Niveles estructurales de las proteínas



## Desnaturalización

La desnaturalización es la destrucción de la conformación nativa de una proteína, sin que se vea afectada su estructura primaria. La proteína conserva la cadena, pero no su estructura espacial. Cuando una proteína se desnaturaliza, la función biológica se pierde, ya que ésta se halla estrechamente ligada a la forma. Dado que la conformación nativa de una proteína está sostenida por uniones relativamente débiles, muchos agentes son capaces de afectarla, por ejemplo: calor, radiaciones, congelamientos repetidos, grandes presiones, ácidos o bases muy concentrados que provocan marcados cambios de pH, algunos solventes orgánicos, etc.

## Funciones de las proteínas

Las proteínas desempeñan infinidad de funciones: hormonal, de sostén, contráctil, de transporte, de defensa, regulación genética, recepción de señales, enzimática y muchas otras. También pueden ser oxidadas para la producción de energía (rinden 4 Kcal/g) aunque no se reservan con este fin.

Todos hemos oído hablar de la información genética y se sabe que esta información, guardada en las moléculas de ADN, es la responsable de las características de un organismo y de las diferencias entre una planta y un perro, o entre dos personas. Lo que no todos saben es que la información que guarda el ADN es la información para fabricar proteínas. No heredamos el color de pelo, o la estatura, heredamos recetas con las instrucciones para elaborar determinadas proteínas. Luego, las proteínas son las encargadas de dotar al organismo de su estructura, su función y sus características propias.

## Enzimas

Las enzimas son proteínas de estructura terciaria o cuaternaria que cumplen la función de **catalizadores biológicos**, acelerando las reacciones químicas del metabolismo. Las enzimas hacen que la velocidad de las reacciones sea compatible con la vida. Sin enzimas, no existiría el metabolismo.

El mecanismo de acción de las enzimas ha sido explicado mediante el modelo de **llave-cerradura**. Cada enzima presenta un sitio (como un bolsillo en la estructura de la molécula) llamado **sitio activo**, donde encajan los sustratos de las reacciones químicas, tal como una llave encaja en su cerradura. La unión del sustrato al sitio activo facilita la formación del producto. Una vez formado, el producto se libera del sitio activo y la enzima se recupera sin cambios. Este mecanismo de acción explica algunas propiedades de las enzimas: **actúan a muy bajas concentraciones y son específicas**.

Actúan a muy bajas concentraciones debido a que su estructura no resulta alterada al finalizar la reacción y, por lo tanto, la misma molécula de enzima puede catalizar sucesivas reacciones. Son específicas: dado que la catálisis requiere el ingreso del sustrato al sitio activo, el sustrato y la enzima no solo deben tener afinidad química, sino también una forma complementaria. La misma enzima, en general, no admite sustratos distintos, como una cerradura no admite diferentes llaves.

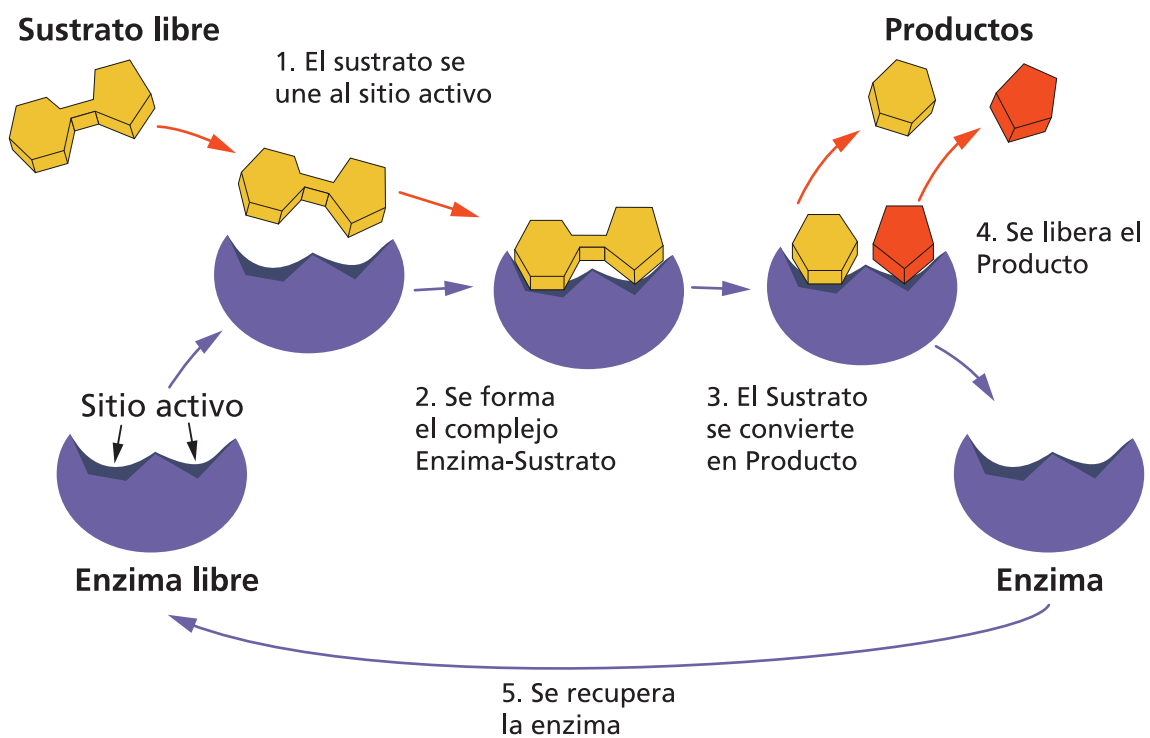
Otra propiedad muy importante de las enzimas es que son **regulables**: ciertas sustancias pueden actuar como moduladores de la actividad enzimática, acrecentándola o dismi-



nuyéndola. También existen mecanismos como “interruptores” que pueden “encender” o “apagar” una enzima, controlando así el metabolismo por medio de su actividad.

Por último, se debe tener en cuenta que las enzimas son proteínas. Esto las hace pasibles de ser afectadas por distintos agentes desnaturizantes. Una enzima desnaturizada pierde su capacidad de catalizador, es decir, pierde su función específica.

Existen reglas emanadas de la Unión Internacional de Bioquímicos para la clasificación y nomenclatura de las enzimas. Sin embargo, nosotros las mencionaremos por sus nombres comunes. El sufijo “asa” identifica el nombre de una enzima. Por ejemplo, el nombre común de la enzima del esquema es “sacarasa”.



# COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS SERES VIVOS

## GUÍA DE ACTIVIDADES

### Actividad 1

#### Resuelve las siguientes consignas.

1. Antes de comenzar, te sugerimos que repases los siguientes conceptos:
  - a. Átomo
  - b. Ion
  - c. enlace iónico
  - d. molécula
  - e. enlace covalente
  - f. enlace covalente polar
2. Describe la estructura molecular del agua.
3. ¿Qué tipo de unión intermolecular presenta el agua? ¿Cuál es su importancia?
4. Lee las páginas 19 y 20 del cuadernillo y realiza un cuadro comparativo sobre los 3 estados de agregación del agua. Recuerda que para comparar debes utilizar los mismos criterios de análisis.
5. ¿Qué es la temperatura y cuál es su relación con los estados de agregación?
6. Escribe un texto breve que relacione el tipo de unión intermolecular que presenta el agua con sus elevados puntos de fusión y ebullición.
7. Explica por qué el hielo flota sobre el agua en estado líquido. Recuerda que explicar es desarrollar una idea con sus causas, relaciones y consecuencias.
8. Generalmente, las áreas costeras tienen temperaturas más moderadas (ni tan frías en invierno ni tan cálidas en verano) que áreas continentales interiores situadas a la misma latitud. ¿Cómo puedes explicar esto?
9. Teniendo en cuenta los conceptos de calor de fusión y de vaporización del agua, explica por qué en días de alta temperatura ambiental, transpirar contribuye a perder calor corporal.
10. Define los siguientes términos referidos al agua:
  - a. Cohesión
  - b. Tensión superficial
  - c. Adhesión
  - d. Capilaridad
11. Con la información de las páginas 23, 24, 25 y 26 realiza un mapa conceptual.
12. ¿Qué posibilita la fuerte capacidad dispersante y disolvente del agua?

13. En un laboratorio se determina que el pH de la solución acuosa de una sustancia es 5. ¿Cuál es la concentración molar de cationes hidrógeno? ¿Es un ácido/base débil o fuerte? $10^{-5}$

14. ¿Qué es un buffer? ¿Cómo está compuesto?

15. Compara los siguientes términos. Recuerda que *comparar* es identificar semejanzas y diferencias entre dos o más elementos, considerando aspectos comunes entre ellos.

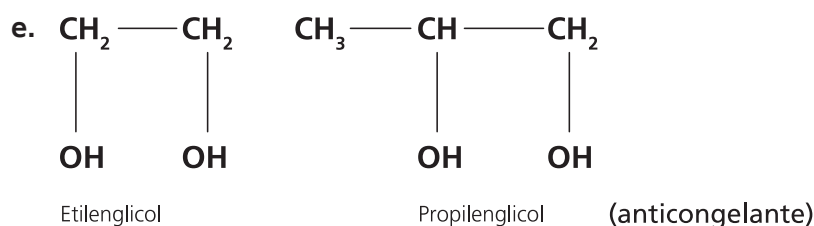
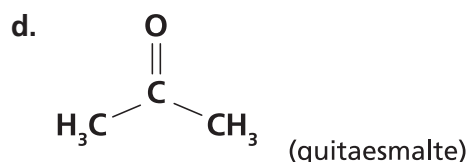
- monómero/polímero;
- glucosa/fructosa/sacarosa;
- glucógeno/almidón/celulosa;
- saturado/no saturado;
- fosfolípido/glucolípido;
- polisacárido/polipéptido;
- puente hidrógeno/puente disulfuro;
- estructura primaria / estructura secundaria / estructura terciaria / estructura cuaternaria;
- nucleótido/ácido nucleico

16. Identifica los grupos funcionales que caracterizan a los siguientes compuestos:

a.  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (componente principal del vinagre)

b.  $\text{HCOOH}$  (ingrediente activo que deja la picadura de una hormiga)

c.  $\text{H-HC=O}$  (conservante de muestras biológicas)



17. ¿Qué es una reacción de condensación? ¿Qué tipo de moléculas sufren reacciones de condensación para formar disacáridos y polisacáridos? ¿Cuáles participan en la constitución de las grasas? ¿Y en la de las proteínas?

18. Menciona un polisacárido con función estructural y otro con función energética.
19. Las plantas habitualmente almacenan reservas energéticas en forma de polisacáridos, mientras que en la mayoría de los animales los lípidos son la forma principal de almacenamiento de energía. ¿Por qué es ventajoso para los animales tener su reserva de energía almacenada como lípidos y no como polisacáridos?
20. Dibuja la disposición de los fosfolípidos cuando están rodeados por agua y en uno de ellos señala su región polar y su región no polar.
21. Define polipéptido. ¿Todos los polipéptidos son proteínas? Explique cómo se forma un enlace peptídico.
22. ¿Qué es una enzima? Describe su estructura, función y propiedades.

# UNIDAD 3

---

## CÉLULA

### Contenidos

- Introducción al estudio de la célula
  - Estructura de una célula animal
- Naturaleza y flujo de la información genética
  - ADN y ciclo celular



## INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA CÉLULA

### Teoría celular

La teoría celular se debe a dos científicos alemanes, el botánico **Mathias Schleiden** y el zoólogo **Theodor Schwann**. En 1838, Schleiden señaló por primera vez que las plantas se componen de células. Al año siguiente, Schwann extendió esta generalización a los animales. La teoría celular no tardó en imponerse, pues agrupó un conjunto de datos que ya gozaban de consenso en la comunidad científica y desde entonces se acepta que la célula es la unidad básica de todos los organismos vivos. En el año 1855, **Rudolf Virchow** amplió la teoría celular y afirmó que las células solo surgen por división de otras células preexistentes, contradiciendo así la teoría (que aún entonces tenía muchos adeptos), de que las células pueden surgir por generación espontánea de la materia inanimada.

Durante el siglo XX, la teoría celular fue reafirmada y ampliada y es hoy uno de los conceptos unificadores más importantes de la biología. En su formulación actual, la teoría celular enuncia:

1. Los seres vivos están formados por células y productos celulares.
2. Las células se originan a partir de otras células.
3. Las reacciones químicas del organismo vivo tienen lugar dentro de células.
4. Las células contienen la información hereditaria de los organismos que integran y esta información se transmite de la célula madre a la célula hija.

### Características de las células

Todas aquellas características que se hacen evidentes en un organismo complejo y nos permiten reconocerlo como un ser vivo, están presentes en cada una de las células que lo componen.

Las características de las células son:

**1.- Tienen una organización compleja.**

**2.- Son sistemas abiertos:** intercambian materia y energía con el medio.

**3.- Realizan una serie de transformaciones químicas a las cuales se les da el nombre de metabolismo.**

**4.- Poseen un programa genético** que guía el desarrollo de sus estructuras y su funcionamiento. Ese programa genético está inscripto en la estructura del ADN (ácido desoxirribonucleico) y contiene información para la síntesis de proteínas. Sin embargo, el ADN no participa en forma directa en la elaboración de proteínas. Para ello, la célula sintetiza una molécula intermediaria, el ARN (ácido ribonucleico), donde se transcribe la información genética almacenada en el ADN. El ARN es el artífice directo de la síntesis de proteínas, proceso también llamado traducción. Las proteínas son las ejecutoras del programa. Por lo tanto, la puesta en marcha de un programa genético requiere:



**5.- Tienen movimiento.**

**6.- Poseen receptores que les permiten captar señales del medio y responden a ellas.**

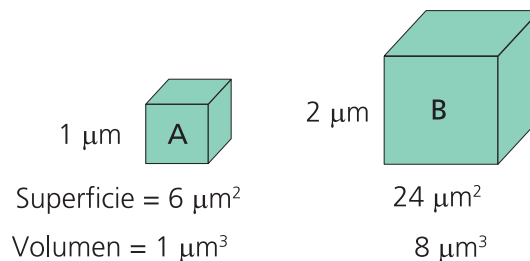
**7.- Se autorregulan.**

**8.- Se reproducen.**

### Tamaño celular

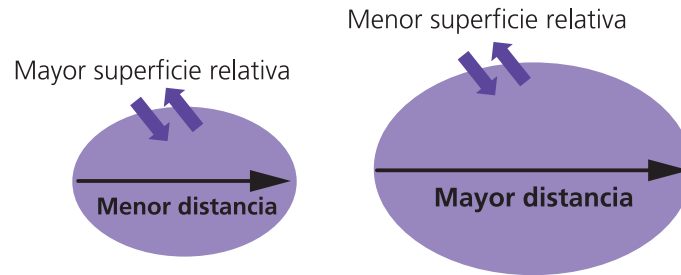
Las células miden típicamente unos pocos micrómetros ( $=1\text{mm} = 10^{-6}\text{m}$ ) de diámetro. Las células no sobrevivirían con volúmenes mayores. El límite al tamaño celular viene impuesto fundamentalmente por dos necesidades:

→ Que **la superficie celular**, a través de la cual se realizan los intercambios con el medio, dé abasto para suministrarle a la célula los nutrientes necesarios y permitirle la eliminación de sus desechos. Cuanto mayor es el volumen de un cuerpo, proporcionalmente menor resulta su superficie. Tómese este simple ejemplo: un cubo A de 1 micrómetro de lado tiene una superficie de 6 micrómetros cuadrados y un volumen de 1 micrómetro cúbico. Un cubo B de 2 micrómetros de lado tiene una superficie de 24 micrómetros cuadrados y un volumen de 8 micrómetros cúbicos. Mientras la superficie de B sólo cuadruplica la de A, su volumen es 8 veces mayor. Si la superficie de estos cuerpos tuviera que ser utilizada para realizar intercambios, como ocurre con las células, el cuerpo B sería menos eficiente que A, ya que dispone de una superficie relativamente menor para su volumen.



→ Que **el volumen celular** sea lo suficientemente pequeño para que las moléculas que participan del metabolismo puedan llegar de una parte a otra de la célula en un tiempo breve.





### Unidades de longitud utilizadas en Biología celular

-Tamaño celular: se expresa en micrómetros (antes llamados micrones).

$$1 \text{ micrómetro} = 1\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

-Tamaño de estructuras subcelulares:

se expresa en nanómetros = milimicrones.

$$1 \text{ nanómetro} = 1\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

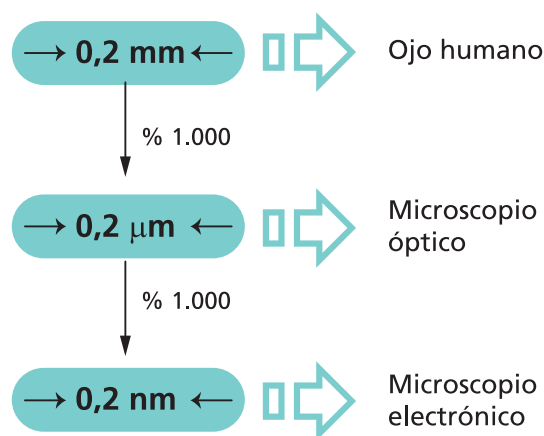
-Tamaño de macromoléculas: se expresa en angstroms.

$$1 \text{ angstrom} = 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$$

## Microscopios

El **poder de resolución** de un instrumento óptico es la capacidad de discriminar o “ver” separadamente dos puntos. El **límite de resolución** es la menor distancia que debe separar a dos puntos para que el instrumento los discrimine como puntos separados. Por lo tanto, la capacidad resolutive es tanto mayor, cuanto menor sea el límite. El límite de resolución para el ojo humano es 200  $\mu\text{m}$  (=0,2 mm). Salvo algunas excepciones, las células no alcanzan este tamaño, por lo que el estudio de las células requiere la asistencia del microscopio.

Existen dos tipos básicos de microscopio: el **microscopio óptico (MO)** y el **microscopio electrónico (ME)**. Dados sus pequeños límites de resolución, el poder resolutive de estos instrumentos (especialmente el del ME) es muy alto y ha permitido el conocimiento detallado de la célula y sus estructuras.



El MO posibilita la visión de tejidos y células, con muy poco detalle de su estructura interna.

Las estructuras subcelulares se observan a través del ME. Las imágenes fotográficas además pueden ser ampliadas, lográndose aumentos de hasta 10.000.000 x. Al ME es posible observar hasta la estructura general de algunas macromoléculas aisladas, como el ADN. Sin embargo, las estructuras moleculares y los átomos, tal como los hemos dibujado hasta ahora, no pueden ser resueltos por ningún instrumento. Los esquemas que se utilizan son representaciones de modelos teóricos.

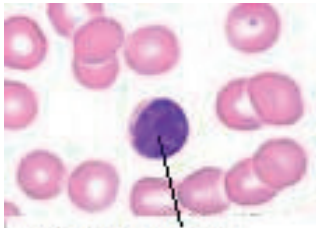


Imagen de un LINFOCITO AL MO

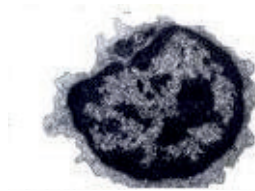


Imagen de un LINFOCITO AL MET

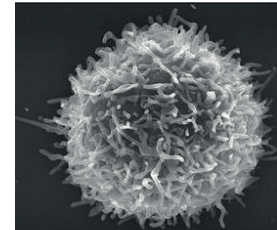
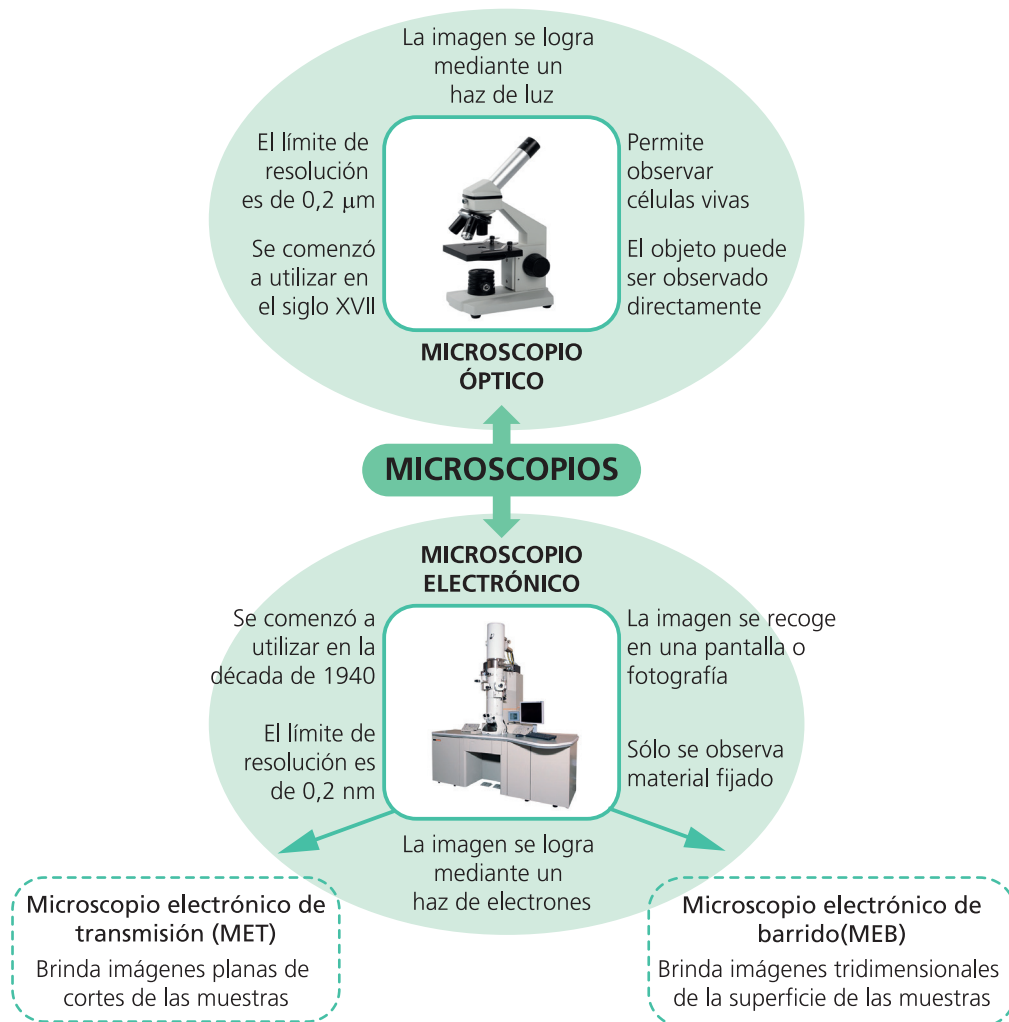


Imagen de un LINFOCITO AL MEB

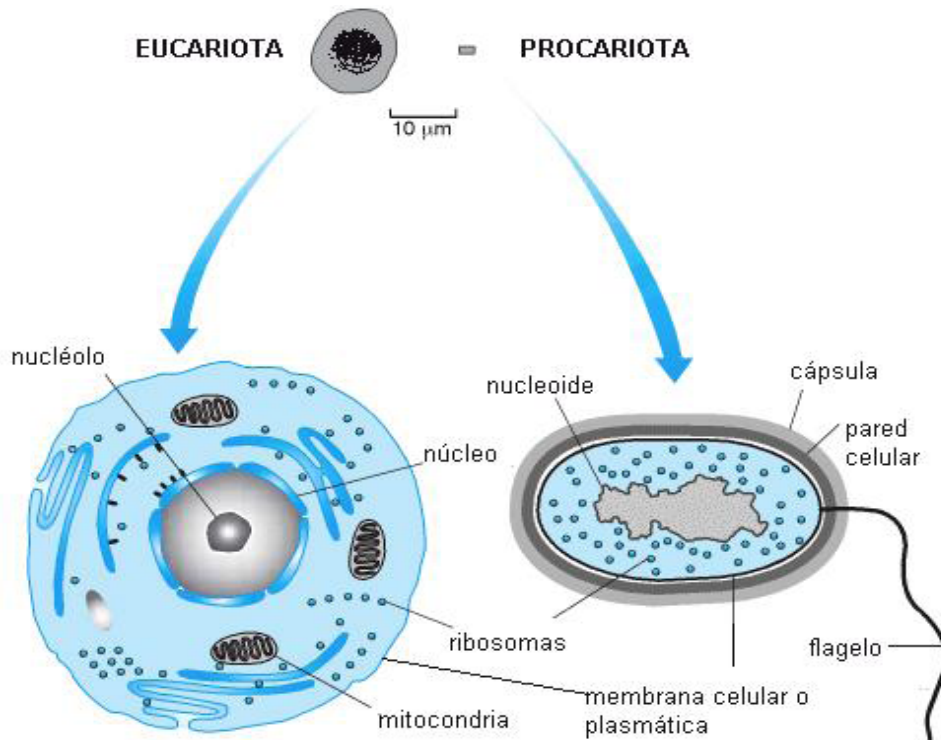


### Modelos celulares

Una célula consta de tres elementos fundamentales: un límite, la **membrana celular**; un contenido o **citoplasma** y el material genético, el cual se halla en una o más estructuras llamadas  **cromosomas**. El modelo celular más sencillo, el de las bacterias, presenta el cromosoma en contacto directo con el citoplasma, en una zona denominada nucleóide. En

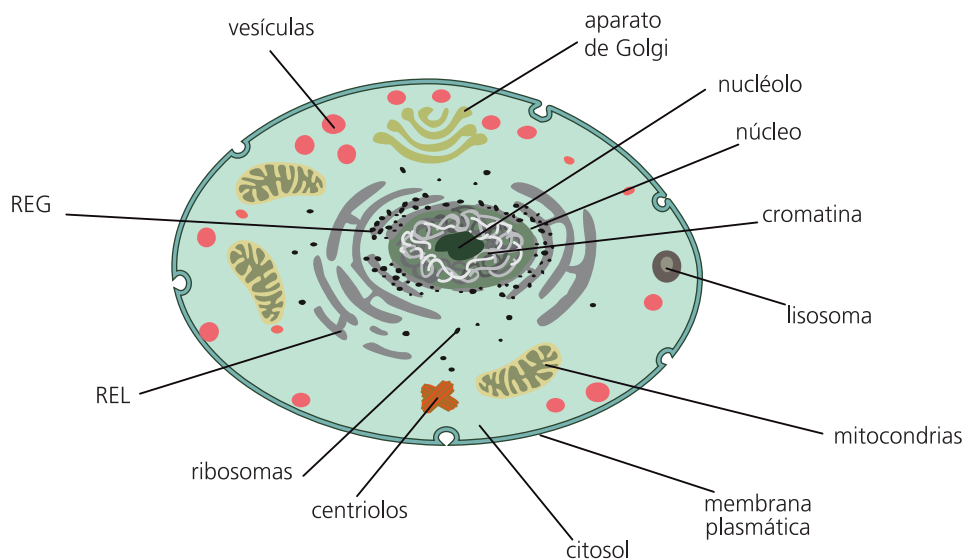
todos los demás seres vivos, los cromosomas están encerrados en un núcleo limitado por una envoltura nuclear, de manera que el contenido celular queda dividido en dos zonas: núcleo y citoplasma. A este modelo celular se le dio el nombre de **célula eucariota** (de eu: verdadero y cario: núcleo). Al tipo celular de las bacterias, en cambio, se lo llamó **procariota** (anterior al núcleo).

A continuación describiremos la estructura general de una célula eucariota animal típica o idealizada.



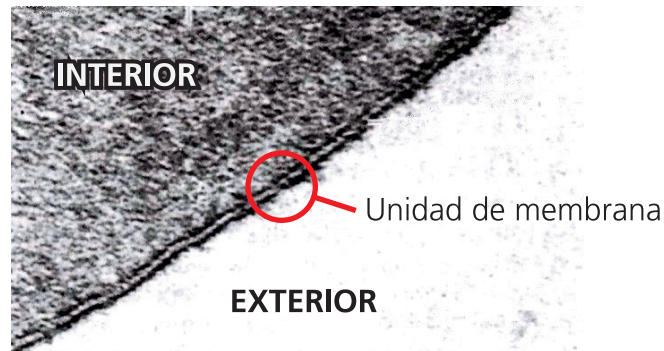
## ESTRUCTURA DE UNA CÉLULA ANIMAL

Esquema de una célula animal



## Membrana plasmática

La membrana plasmática o celular es el límite exterior de la célula. Al ME electrónico ofrece una imagen, común con la de otras membranas, llamada “**unidad de membrana**”.

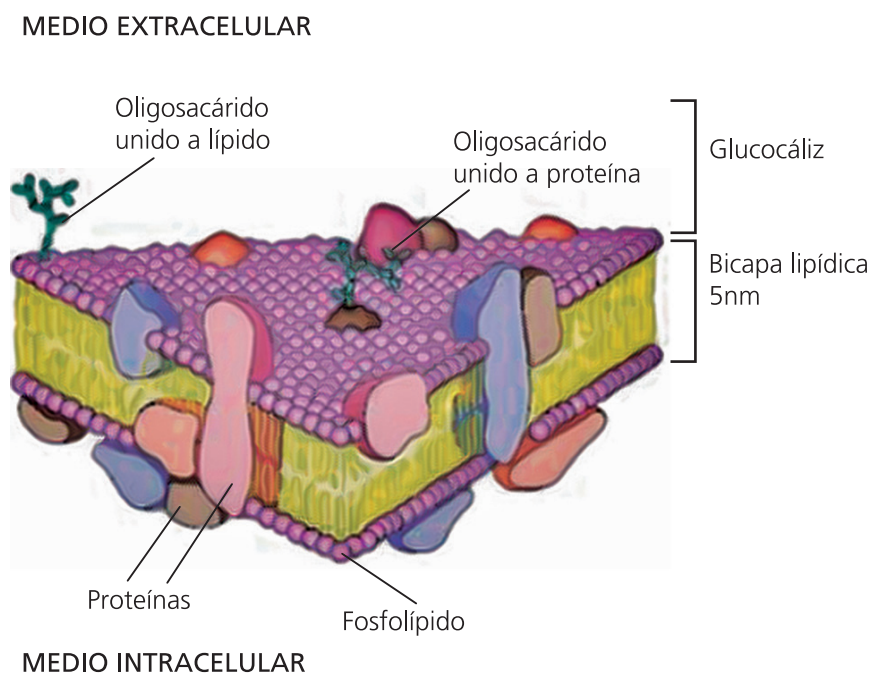


La descripción de la estructura que sigue no corresponde a una imagen sino a un modelo obtenido de pruebas indirectas.

La membrana plasmática es una **bicapa** formada por **fosfolípidos**, **glucolípidos** y **colesterol**, con **proteínas** en la superficie de la bicapa e intercaladas entre los lípidos. La mayor parte de las proteínas son en realidad **glucoproteínas**, pues llevan unidas cadenas de oligosacáridos que se proyectan desde la membrana hacia el exterior celular. Los **glucolípidos** solo se ubican en la monocapa extracelular y sus glúcidos, por lo tanto, se exponen en la superficie de la célula. Las cadenas glucídicas de unas y otras moléculas forman en conjunto la capa más externa de la membrana plasmática, a la que se llama **glucocáliz**.

El modelo descriptivo de la membrana plasmática, **modelo de mosaico fluido**, indica que los componentes de la membrana gozan de cierta libertad de movimiento en el espesor de la misma.

Dependiendo del tejido, la membrana presenta zonas especializadas en distintas funciones, las **diferenciaciones de membrana**.



La función de la membrana plasmática es, fundamentalmente, el mantenimiento del medio interno de la célula, por medio del **control de los ingresos y egresos** de moléculas que se producen a través de ella. Algunos de estos pasajes son pasivos, pero otros requieren la intervención de mecanismos de transporte que implican un gasto energético celular. También en la membrana se encuentran **estructuras receptoras** que le permiten a la célula responder de diversas formas a las señales recibidas. Además, la membrana vincula a una célula con sus vecinas y con la sustancia que la rodea, llamada matriz extracelular. Estas relaciones célula-célula y célula-matriz son de suma importancia en la arquitectura de los tejidos.

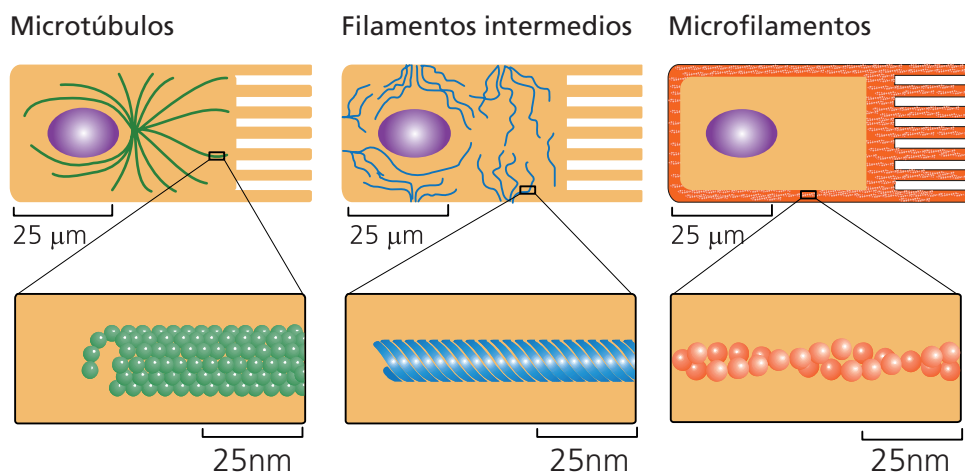
## Citoplasma

El citoplasma es la zona que se ubica entre la membrana plasmática y el núcleo. La parte líquida del citoplasma se denomina **citósol o matriz citoplasmática**. La matriz citoplasmática es un medio acuoso que contiene iones y moléculas pequeñas disueltas y también muchos tipos de macromoléculas en suspensión; entre ellas, enzimas, que participan en importantes vías metabólicas. En algunos casos, el citósol tiene **inclusiones**, que son depósitos de distintas sustancias. Por ejemplo, en las células del tejido adiposo grandes gotas de triglicéridos se reservan en el citósol.

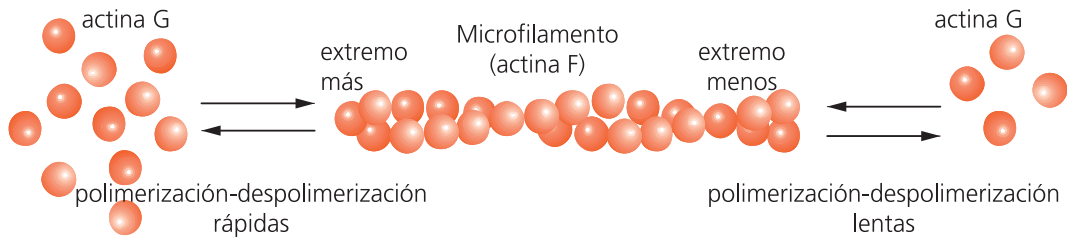
Sin embargo, el citoplasma está lejos de ser una masa homogénea e informe. Por el contrario, el citósol está interrumpido y recorrido por una serie de estructuras complejas y especializadas: el citoesqueleto, el sistema de endomembranas y los orgánoides citoplasmáticos.

## Citoesqueleto

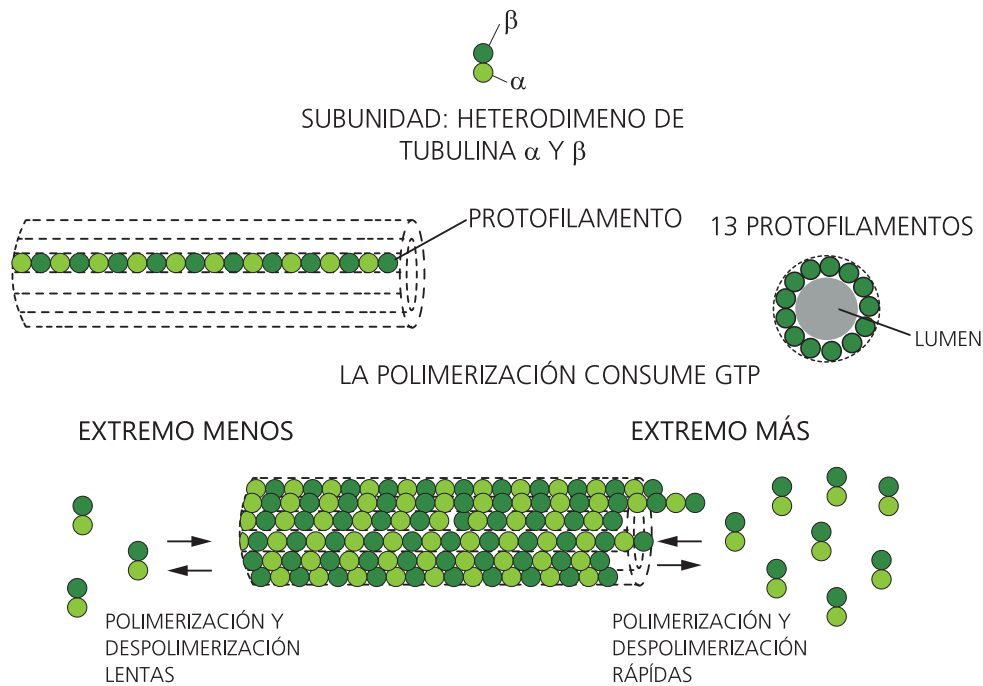
El citoesqueleto es el armazón de la célula. Está constituido por tres tipos de elementos filamentosos: los microtúbulos, los filamentos intermedios y los filamentos intermedios.



Los **microfilamentos (MF)** son los componentes más delgados del citoesqueleto. Son varillas macizas de 8 nm de diámetro, constituidas por unidades de una proteína globular, la **actina G**. Las unidades de actina G se unen entre sí en una doble hélice estrecha que forma el microfilamento o actina F.



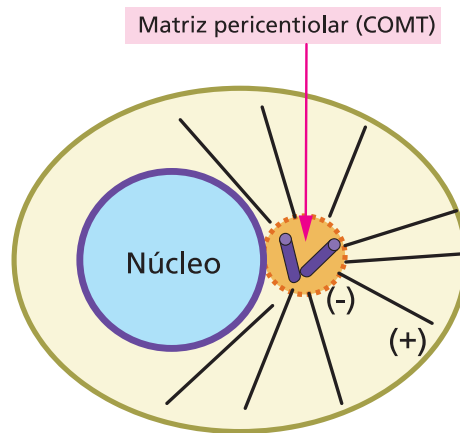
Los **microtúbulos (MT)** son cilindros huecos de 25 nm de diámetro; tienen subunidades de otra proteína globular, la **tubulina**. En la pared del microtúbulo, las unidades de tubulina se disponen formando 13 hileras llamadas protofilamentos.



Tanto los MF como los MT pueden modificar su longitud añadiendo o perdiendo subunidades por ambos extremos, en los procesos llamados polimerización y despolimerización, respectivamente. La polimerización consume energía.

Los microfilamentos se ubican preferencialmente en la zona periférica del citoplasma y pueden adoptar diferentes disposiciones en las células: forman haces, redes delgadas y también redes complejas, tridimensionales. Cambios en los filamentos de actina provocan que la consistencia del citosol pase de sol a gel. La forma en que se disponen los filamentos de actina depende en gran medida de su interacción con las proteínas que se enlazan a actina o proteínas ligadoras. Otras proteínas reguladoras controlan dichos cambios.

Los MT citoplasmáticos de las células animales generalmente se disponen en el citoplasma en forma de rayos que irradian desde el centrosoma o centro celular. Los extremos menos de los MT se orientan hacia el centrosoma, mientras que los extremos más están dirigidos hacia la periferia celular. El **centrosoma** es una zona cercana al núcleo que comprende a los centriolos, estructuras pares ubicadas en ángulo recto uno respecto del otro, y a una matriz que los rodea, la matriz pericentriolar. Esta última contiene proteínas que dirigen la formación y el crecimiento de los microtúbulos, por lo cual el centrosoma es considerado un "centro organizador de microtúbulos" (COMT).



Los MT citoplasmáticos también son estructuras muy dinámicas, con la posibilidad de modificar su longitud y su distribución dentro de la célula. Por ejemplo, durante la división celular, los microtúbulos citoplasmáticos se desensamblan y reorganizan por completo, formando el huso mitótico, estructura encargada de repartir los cromosomas entre las células hijas.

Los microfilamentos interactúan con **proteínas motoras** denominadas **miosinas I y miosinas II**. En asociación con miosinas, los MF participan en el movimiento de orgánulos, en la migración celular y forman estructuras contráctiles, como el sarcómero de las células musculares.

Los microtúbulos también se asocian a sus propias proteínas motoras, las **quinesinas** (o cinesinas) y las **dineínas**. Además de los MT citoplasmáticos, inestables y cambiantes, las células poseen microtúbulos que forman parte de estructuras estables, como los **centríolos**, las **cilias** y los **flagelos**.

En conclusión, el citoesqueleto es una estructura dinámica, que cumple con las siguientes funciones: da forma y sostén a la célula, le confiere resistencia a la tracción, participa en el movimiento de organelas dentro del citoplasma y es el responsable del desplazamiento celular.

## Sistema de endomembranas

El sistema de endomembranas (SE) es un enorme compartimiento dentro del citoplasma, como un sistema de cañerías que se interconectan y cuyas paredes están formadas por membrana. El sistema de endomembranas se encarga de la síntesis de diversas macromoléculas que luego son transportadas por su interior.

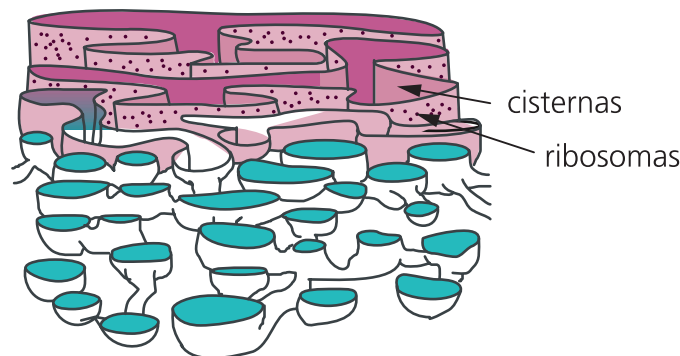
El **retículo endoplasmático rugoso o granular (RER o REG)** está formado por cisternas o bolsas aplanadas, conectadas unas a otras mediante túbulos membranosos. Sobre la cara de las membranas que da al citoplasma se apoyan ribosomas. Las proteínas sintetizadas por estos orgánulos atraviesan las membranas del REG. Algunas de ellas son volcadas hacia el lumen o cavidad del retículo, mientras que otras quedan ancladas a la membrana. Para que los ribosomas se unan al retículo, la proteína que están sintetizando debe llevar un tipo de señal; de lo contrario, el ribosoma permanece en el citosol, como ribosoma libre. Las proteínas que llevan la señal adecuada y consiguientemente son sintetizadas en ribosomas que se adhieren al retículo, son las siguientes: proteínas integrantes del sistema de endomembranas, proteínas lisosomales, proteínas destinadas a la membrana plasmática y proteínas de secreción. Al mismo tiempo que las cadenas peptídicas son translocadas hacia el lumen del REG su-

fren casi siempre un proceso de glicosilación, que consiste en la adición de una o más moléculas de oligosacárido.

El **retículo endoplasmático liso o agranular (REL o REA)** está representado por túbulos intrincados. En las paredes de estos túbulos se fabrican distintos tipos de lípidos, por ejemplo fosfolípidos de membrana y esteroides. La cavidad o luz del REL también sirve como reservorio de calcio iónico. Otra función del REL, particularmente en las células hepáticas, es su acción detoxificante.

### Ritículo endoplasmático

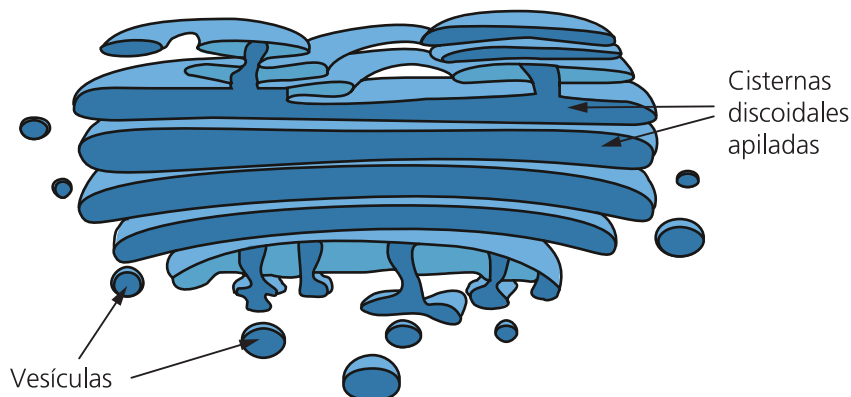
Rugoso



Liso

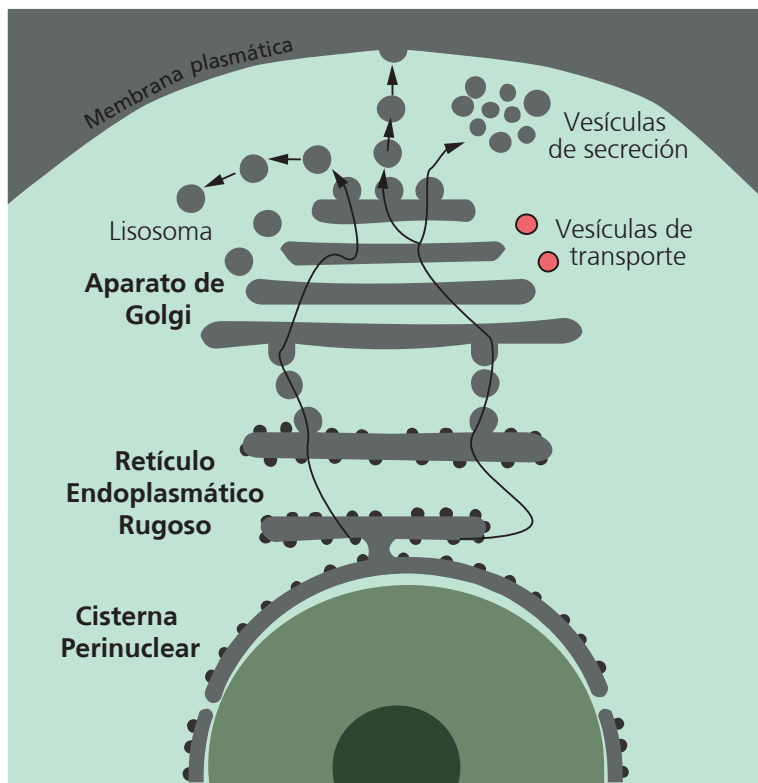
El **aparato o complejo de Golgi** consta de bolsas circulares apiladas unas sobre otras. Allí se sintetizan algunos glúcidos complejos (heteropolisacáridos) y además se reciben vesículas de transporte con las moléculas elaboradas por el REG y el REL. Las vesículas o vacuolas son pequeñas bolsas membranosas que se desprenden como brotes de los dos sectores del retículo endoplasmático y sirven como “empaquetado” y vehículo de transporte para los productos allí fabricados. Las vesículas de transporte son desplazadas por el citosol hasta llegar al aparato de Golgi. Este complejo presenta una cara de recepción (cara cis), a la cual se fusionan las vesículas, entregando su cargamento. Ya dentro del aparato de Golgi, los distintos cargamentos son modificados, concentrados y clasificados. Así, según su destino, son empaquetados en nuevas vesículas que brotan de la cara opuesta del aparato de Golgi, la cara de emisión (cara trans). Algunas de las vesículas emitidas por el aparato de Golgi son lisosomas; otras son vesículas de secreción.

### Aparato de Golgi





Los **lisosomas** contienen las proteínas lisosomales originadas en el REG. Las mismas son enzimas hidrolíticas y participan en procesos de digestión intracelular.

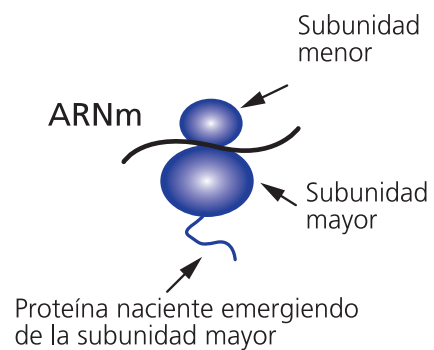


Las **vesículas de secreción** se fusionan con la membrana plasmática. Esto permite volcar su contenido en el medio extracelular, donde cumplirá una función, ya sea hormonal, enzimática, estructural, etc.

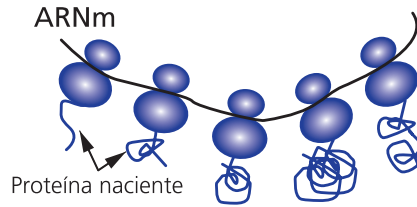
La fusión de vesículas con la membrana plasmática también es el medio para que ésta incorpore nuevos componentes, lípidos o proteínas, sintetizados en el sistema de endomembranas y transportados como parte integrante de la membrana vesicular.

### Ribosomas

Estos orgánulos están formados por **dos subunidades**, la mayor y la menor, que se ensamblan entre sí en presencia de un tipo de ARN llamado mensajero (ARNm). Cada ARNm es una molécula lineal que porta la información para la síntesis de una proteína particular. El ribosoma ya ensamblado se desliza sobre el ARNm, que se sitúa en un túnel excavado en la subunidad menor, al tiempo que sintetiza la proteína especificada en el ARN. Según las señales que exhiben las proteínas nacientes, el ribosoma persiste en el citosol, como ribosoma libre, o se adhiere a las membranas del REG y continúa allí el proceso de síntesis, como ya se mencionó. Las subunidades ribosomales se separan una vez que la síntesis de la proteína ha concluido.



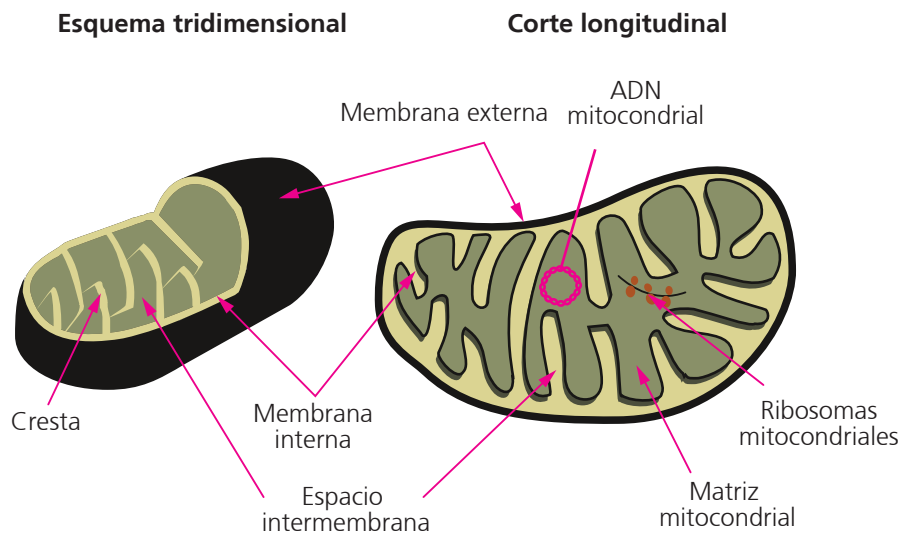
Frecuentemente, varios ribosomas, ya sean libres o unidos al REG, aparecen agrupados sobre un mismo ARNm; a estos grupos se los denomina **polisomas o polirribosomas**. Los ribosomas carecen de membrana y cada una de sus subunidades es un complejo formado por **ARN ribosomal (ARNr) y proteínas**.



## Mitocondrias

Las mitocondrias tienen forma ovoide, de bastón o esférica. Son orgánulos de gran tamaño (hasta 3 micrómetros de largo). Están rodeadas por **dos membranas**: una externa, lisa y otra interna, con pliegues llamados crestas mitocondriales. Entre ambas membranas hay un compartimiento, el **espacio intermembrana**, y por dentro de la membrana interna se encuentra la **matriz mitocondrial**. Sobre la membrana interna y en la matriz se ubican una gran cantidad de enzimas que participan en la fase dependiente de oxígeno de la **respiración celular**. La función de las mitocondrias es, por lo tanto, la de proveer energía para el funcionamiento celular. La energía que se libera de los combustibles durante la respiración celular se almacena temporalmente en una molécula llamada ATP (sigla del nucleótido adenosín trifosfato). La mitocondria es la principal **proveedora de ATP** de la célula.

Las mitocondrias poseen su propio **ADN**, así como **ribosomas** (más pequeños que los citoplasmáticos) y otros tipos de ARN. Parte de la información genética necesaria para el funcionamiento de las mitocondrias está contenida en su ADN; además pueden llevar cabo la traducción. Las mitocondrias son **autorreplicantes**, se originan por división de las pre-existentes.

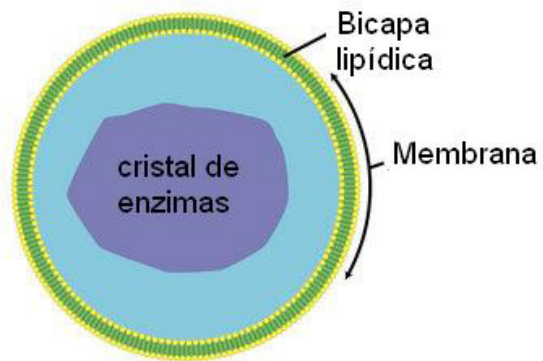
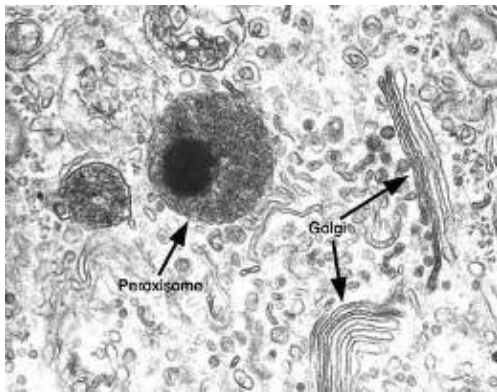


## Peroxisomas

Los peroxisomas son orgánulos membranosos. Contienen enzimas que participan en procesos oxidativos; algunas de ellas tienden a formar un cuerpo cristalino. Son, junto con las

mitocondrias, los orgánoides donde se consume el oxígeno que llega a las células, aunque, a diferencia de lo que ocurre en las mitocondrias, las reacciones que transcurren en los peroxisomas no generan ATP.

Especialmente en células hepáticas, las reacciones oxidativas de los peroxisomas posibilitan la metabolización de sustancias tóxicas, como el etanol o alcohol etílico. El peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) se forma como producto de estas reacciones de detoxificación. Una enzima característica del peroxisoma es la catalasa, que cataliza la descomposición del exceso de peróxido de hidrógeno allí generado.

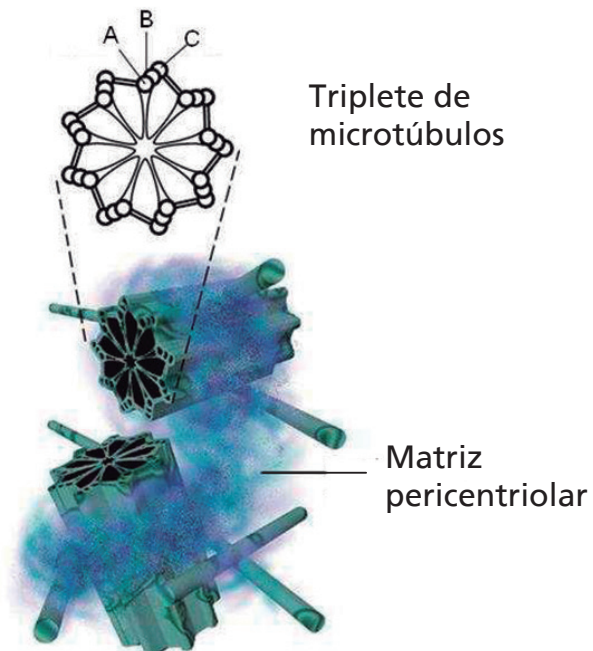


Los peroxisomas no están relacionados con el sistema de endomembranas; cada peroxisoma se origina por división o **fisión binaria** a partir de otro preexistente y luego crece por incorporación de proteínas captadas selectivamente desde el citosol y lípidos de membrana intercambiados con el REL.

### Centríolos

Los centriolos se encuentran por pares y forman el centrosoma o centro celular junto con la matriz que los rodea (matriz pericentriolar). Desde allí irradian los microtúbulos citoplasmáticos. Los mismos centriolos son cilindros huecos cuyas paredes están formadas por **nueve tripletes de microtúbulos**. Se duplican antes de la división celular y en el transcurso de ésta se incorporan al aparato mitótico. Al final de la división celular cada célula hija recibe un par de centriolos.

Los centriolos **dan origen a las cilias y los flagelos**, prolongaciones móviles que están presentes en algunos tipos celulares.



## Núcleo celular

El núcleo está rodeado por una membrana doble, la envoltura nuclear, que es una dependencia del REG; la luz de este último tiene continuidad con la cisterna perinuclear, comprendida entre las dos membranas que forman la envoltura. La envoltura nuclear está sostenida por una estructura de filamentos intermedios, la lámina nuclear.

La envoltura nuclear tiene poros parcialmente cerrados por un complejo proteico, el complejo del poro nuclear (CPN). A través de estos complejos se ejerce el control de las sustancias que ingresan al núcleo o que salen hacia el citoplasma.

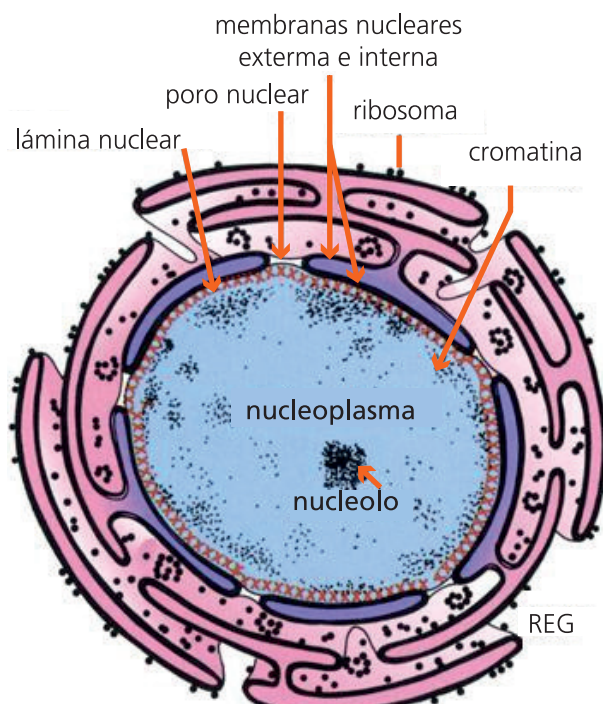
Dentro del núcleo se encuentra el jugo nuclear (también llamado nucleoplasma o carioplasma), que es la parte líquida del núcleo, equivalente al citosol. Una matriz o “scaffold” formada por proteínas recorre el nucleoplasma y da sostén a la cromatina.

La cromatina es un material fibroso formado por la asociación entre ADN y proteínas, de las cuales las proteínas básicas llamadas histonas son las más abundantes. Las largas moléculas de ADN pueden ser empacadas dentro del núcleo gracias a que se enrollan alrededor de complejos de histonas. Las fibras de cromatina presentan diferentes grados de plegamiento, que resultan en una estructura cada vez más compacta. El grado mayor de plegamiento se alcanza durante la división celular.

Entonces la cromatina da lugar a la formación de unas estructuras bien visibles al microscopio óptico, los cromosomas.

El número y el tipo de cromosomas son constantes para cada especie; las células humanas tienen 46 cromosomas.

El nucléolo está formado por la convergencia de varias asas de cromatina en un sector del nucleoplasma. Estas asas son transcritas en moléculas de ARN, precursor del ARNr. A su vez, se acumulan en el nucléolo proteínas provenientes del citosol. Éstas se ensamblan con moléculas de ARNr y así se forman subunidades ribosomales. El nucléolo, entonces, es el



sector del núcleo donde se sintetiza ARNr y se arman las subunidades ribosomales. Éstas, una vez construidas, se dirigen al citosol.

El núcleo es la estructura más destacada dentro de la célula, tanto por su tamaño, como por su función. Dentro del núcleo se encuentra el ADN. Pero el núcleo no es solamente el lugar donde se almacenan las **instrucciones genéticas**; también es el sitio donde se lleva a cabo el primer paso de la expresión genética, que es la **transcripción**, y donde se ponen en marcha los complicados mecanismos que la regulan. Además, en el interior del núcleo tiene lugar la **replicación del ADN**, proceso previo y necesario para la división celular.

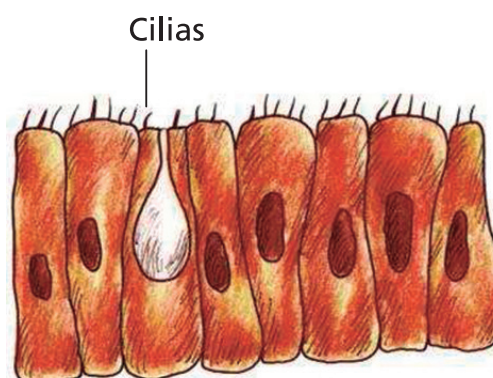
El núcleo es indispensable para el **mantenimiento y la reproducción celular**. Si una célula pierde el núcleo muere rápidamente. Aun cuando la pérdida del núcleo está programada como parte del proceso de maduración, como ocurre con los glóbulos rojos, la célula sobrevive muy poco tiempo y es obvio que nunca llega a reproducirse.

## Cilias y flagelos

Las cilias y los flagelos son prolongaciones móviles del citoplasma recubiertas por la membrana plasmática, que se presentan en algunos tipos celulares.

Las **cilias** son apéndices cortos y numerosos; los **flagelos** son prolongaciones de mayor longitud y se presentan uno o unos pocos por célula. En el organismo humano, las únicas células flageladas son los espermatozoides. El flagelo forma la cola que propulsa al espermatozoide en el semen y dentro del tracto genital femenino.

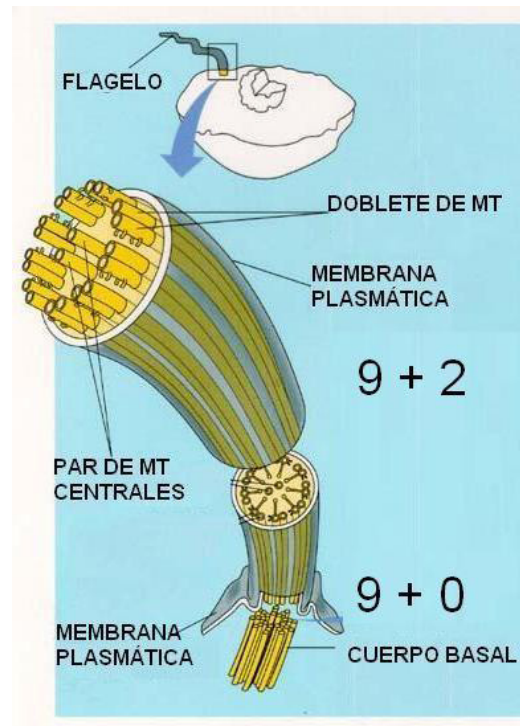
Las cilias también actúan como estructuras locomotoras en organismos unicelulares o pluricelulares muy simples, como ciertos protozoos o algas, a los cuales dotan de una locomoción similar al movimiento a remo. Sin embargo, cuando las células ciliadas forman parte de un tejido, las cilias son utilizadas para generar corrientes en el medio que las rodea. El hombre presenta células ciliadas en el epitelio de la vía respiratoria; allí, el movimiento ciliar produce el desplazamiento hacia el exterior de la capa de moco donde quedan atrapadas las partículas que ingresan con el aire. En las trompas de Falopio el movimiento ciliar sirve al fin de atraer el óvulo liberado desde el ovario hacia la cavidad abdominal.



Cilias en el epitelio de la vía respiratoria

La estructura de las cilias y los flagelos, sin embargo, es la misma. Ambos están rodeados por una prolongación de la membrana plasmática que toma el nombre de **axolema**. Por dentro se encuentra el **axonema**, formado por microtúbulos, los que se disponen en nue-

ve dobletes periféricos más un par de microtúbulos centrales (**estructura 9+2**). De cada doblete periférico, además, se proyectan a intervalos regulares dos brazos formados por la **dineína ciliar**, proteína emparentada con la dineína citoplasmática ya mencionada, que actúa como proteína motora. En la base de la cilia o el flagelo se ubica el **cuerpo basal**, formado por nueve tripletes de túbulo. Su estructura se conoce como **9+0** (pues carece de los microtúbulos centrales que se encuentran en el axonema). La estructura del cuerpo basal es igual a la del centriolo. Centriolos y cuerpos basales pueden darse origen unos a otros. Las cilia y flagelos crecen a partir del cuerpo basal.



## ESTRUCTURA DE UNA CÉLULA VEGETAL

La célula vegetal tiene, en la mayoría de los casos, la capacidad de realizar el proceso de fotosíntesis. Son células eucariotas rodeadas de una pared celular celulósica que les otorga la rigidez necesaria para evitar los cambios de posición y forma.

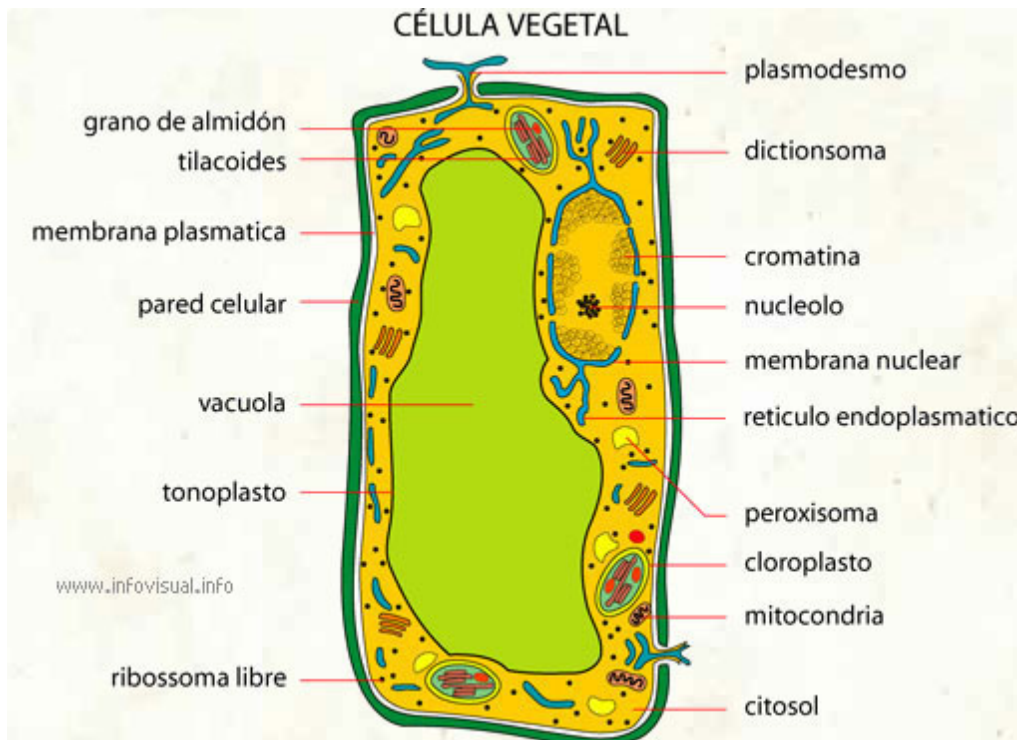
78

Las células vegetales contienen una vacuola central (que almacena y transporta agua, nutrientes y desechos) y plástidos (estructuras que sintetizan los alimentos). El principal tipo de plástido presente en las células vegetales es el cloroplasto (plástidos que poseen clorofila en su interior).

La existencia de plasmodesmos (puentes citoplasmáticos) permiten las comunicaciones entre las células vegetales. Estos puentes, que suelen situarse en las zonas de la célula donde la pared es más delgada, facilitan la circulación de los solutos y del agua.

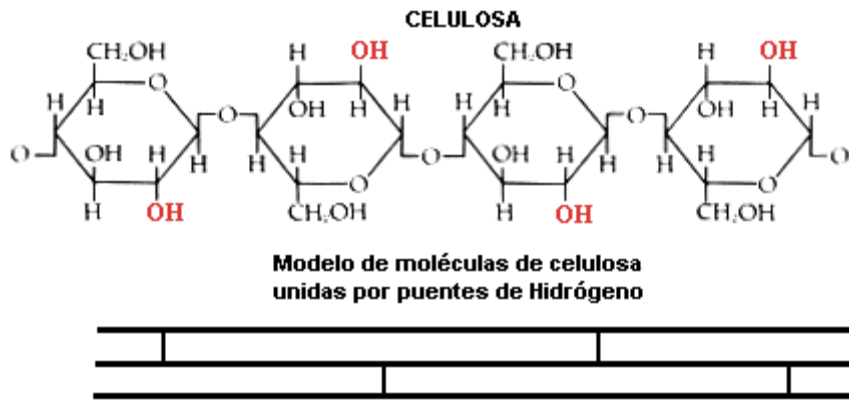
Una serie de características diferencian a las células vegetales:

- **Presentan cloroplastos:** son orgánulos rodeados por dos membranas, atrapan la energía electromagnética derivada de la luz solar y la convierten en energía química mediante la fotosíntesis, utilizando después dicha energía para sintetizar azúcares a partir del CO<sub>2</sub> atmosférico.
- **Vacuola central:** una gran vacuola en la región central es exclusiva de los vegetales, constituye el depósito de agua y de varias sustancias químicas, tanto de desecho como de almacenamiento. La presión ejercida por el agua de la vacuola se denomina presión de turgencia y contribuye a mantener la rigidez de la célula, por lo que el citoplasma y núcleo de una célula vegetal adulta se presentan adosados a las paredes celulares. La pérdida del agua resulta en el fenómeno denominado **plasmólisis**, por el cual la membrana plasmática se separa de la pared y condensa en el centro del lumen celular.
- **Pared celular** es tal vez la característica más distintiva de las células vegetales. Le confiere la forma a la célula, cubriéndola a modo de exoesqueleto, le da la textura a cada tejido, siendo el componente que le otorga protección y sostén a la planta.



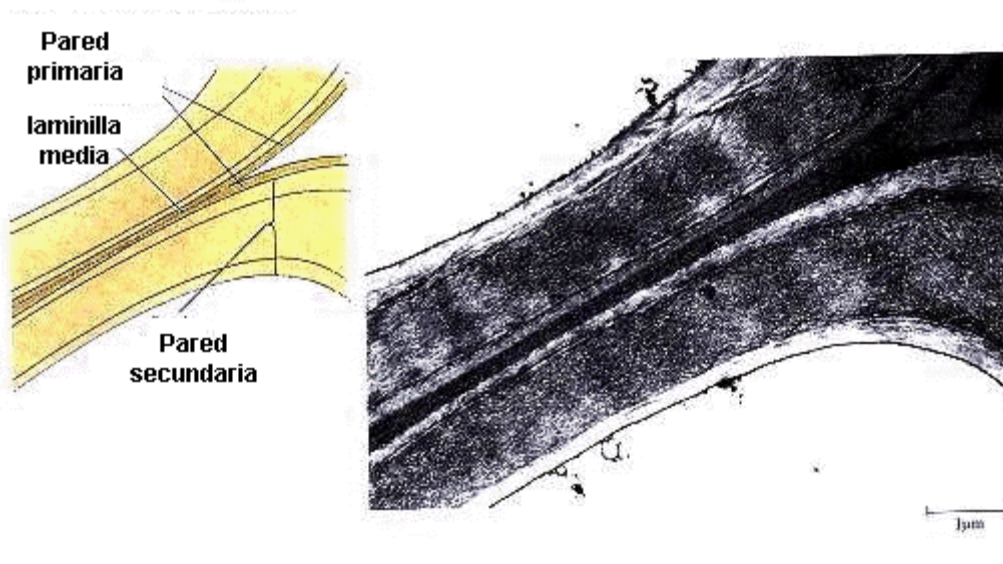
## Pared Celular

Su principal componente estructural es la **celulosa**, entre un 20-40%. La celulosa es el compuesto orgánico más abundante en la tierra, está formado por monómeros de glucosa unidos de manera lineal. Miles de moléculas de glucosa dispuestas de manera lineal se disponen paralelas entre sí y se unen por puentes de hidrógeno formando microfibrillas, de 10 a 25 **nm** de espesor. Este tipo de unión (1-4 β) entre las unidades de glucosa es lo que hace que la celulosa sea muy difícil de hidrolizar.



Las microfibrillas se combinan mediante las **hemicelulosas**, compuesto producido por los dictiosomas, estas se unen químicamente a la celulosa formando una estructura llamada microfibrillas de hasta medio millón de moléculas de celulosa en corte transversal. Esta estructura es tan sólida como la del concreto reforzado. La hemicelulosa y la pectina contribuyen a unir las microfibrillas de celulosa, al ser altamente hidrófilas contribuyen a mantener la hidratación de las paredes jóvenes. Entre las sustancias que se incrustan en la pared se encuentra la **lignina**, molécula compleja que le otorga rigidez. Otras sustancias incrustantes como la cutina y suberina tornan impermeables las paredes celulares, especialmente aquellas expuestas al aire.

En la pared celular se puede reconocer como **pared primaria** y **pared secundaria**, difieren en la ordenación de las fibrillas de celulosa y en la proporción de sus constituyentes. Durante la división celular las dos células hijas quedan unidas por la laminilla media, a partir de la cual se forma inicialmente la pared primaria, cuyas microfibrillas se depositan de manera desordenada.



La **pared primaria** se encuentra en células jóvenes y áreas en activo crecimiento, por ser relativamente fina y flexible, en parte por presencia de sustancias pépticas y por la disposición desordenada de las microfibrillas de celulosa. Las células que poseen este tipo de pared tienen la capacidad de volver a dividirse por mitosis: **desdiferenciación**. Ciertas zonas de la pared son más delgadas formando campos primarios de puntuaciones donde plasmodesmos comunican dos células contiguas.



La **pared secundaria** aparece sobre las paredes primarias, hacia el interior de la célula, se forma cuando la célula ha detenido su crecimiento y elongación. Se la encuentra en células asociadas al sostén y conducción, el protoplasma de estas células generalmente muere a la madurez.

La **laminilla media** está formada por sustancias pépticas y es difícil de observar con microscopio óptico, es la capa que mantiene unidas las células. Algunos tejidos, como el parénquima de algunos frutos (manzana) son particularmente ricos en sustancias pépticas, por lo que son usadas como espesantes para preparar jaleas y mermeladas.

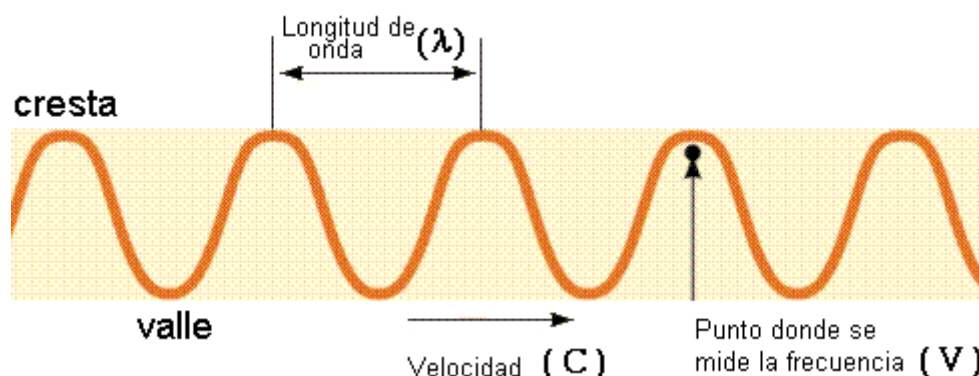
**Comunicaciones Intercelulares:** otra característica de las células vegetales es la presencia de puentes citoplasmáticos denominados **plasmodesmos**, usualmente de 40 nm de diámetro. Éstos permiten la circulación del agua y solutos entre las células.

- **Campo primario de puntuación:** al aumentar de tamaño una célula, la pared aumenta de espesor, salvo en algunas zonas donde permanece delgada, constituyendo estas zonas donde son abundantes los plasmodesmos.
- **Puntuaciones:** son zonas donde no hay depósito de pared secundaria, quedando las paredes primarias más delgadas. Dependiendo del espesor de las paredes pueden formarse verdaderos canales que se corresponden entre células adyacentes. Las puntuaciones pueden ser simples o areoladas cuando tienen un reborde (ver tejidos).

## FOTOSÍNTESIS

### La naturaleza de la luz

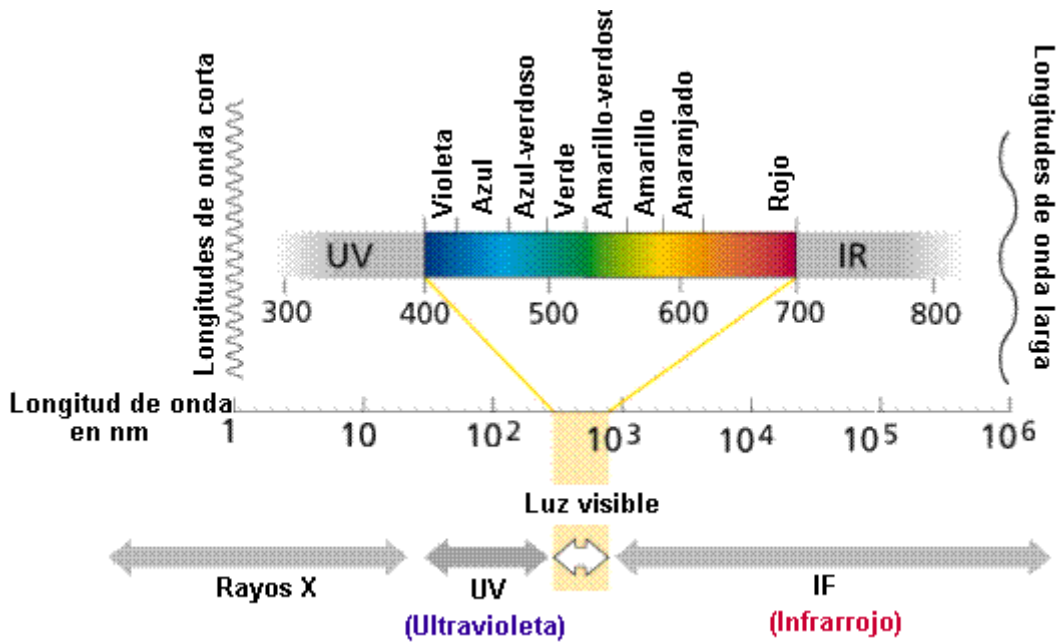
La luz blanca se descompone en diferentes colores (color = longitud de onda) cuando pasa por un prisma. La longitud de onda se define como la distancia de pico a pico (o de valle a valle). La energía es inversamente proporcional a la longitud de onda: longitudes de onda larga tienen menor energía que las cortas.



Modificada de: <http://www.whfreeman.com/life/update/>.

La distribución de los colores en el espectro está determinada por la longitud de onda de cada uno de ellos. La luz visible es una pequeña parte del espectro electromagnético. Cuanto más larga la longitud de onda de la luz visible tanto más rojo el color. Asimismo las longi-

tudes de onda corta están en la zona violeta del espectro. Las longitudes de onda mas largas que las del rojo se denominan infrarrojas, y aquellas mas cortas que el violeta, ultravioletas.



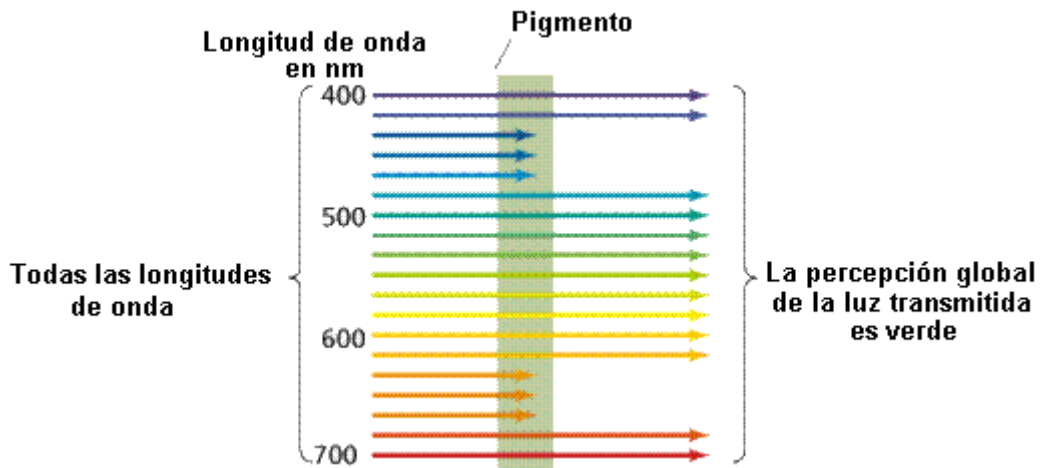
Modificado de: <http://www.whfreeman.com/life/update/>.

La luz tiene una naturaleza dual: se comporta como onda y partícula. Entre las propiedades de la onda luminosa se incluyen la refracción de la onda cuando pasa de un material a otro. El efecto fotoeléctrico demuestra el comportamiento de la luz como partícula. El zinc se carga positivamente cuando es expuesto a luz ultravioleta en razón de que la energía de las partículas luminosas eliminan electrones del zinc. Estos electrones pueden crear una corriente eléctrica. El sodio, potasio y selenio tienen longitudes de onda críticas en el rango de la luz visible. La longitud de onda crítica es la mayor longitud de onda (visible o no) que puede causar un efecto fotoeléctrico. Albert Einstein desarrolló en 1905 la teoría de que la luz estaba compuesta de unas partículas denominadas fotones, cuya energía era inversamente proporcional a la longitud de onda de la luz. La Luz por lo tanto tiene propiedades explicables tanto por el modelo ondulatorio como por el corpuscular.

### Clorofila y Pigmentos accesorios

Un pigmento es cualquier sustancia que absorba la luz. El color del pigmento esta dado por la longitud de onda no absorbida (y por lo tanto reflejada). Los pigmentos negros absorben todas las longitudes de onda que les llega. Los pigmentos blancos reflejan prácticamente toda la energía que les llega. Los pigmentos tienen un espectro de absorción característico de cada uno de ellos.

La clorofila, el pigmento verde común a todas las células fotosintéticas, absorbe todas las longitudes de onda del espectro visible, excepto las de la percepción global del verde, detectado por nuestros ojos.

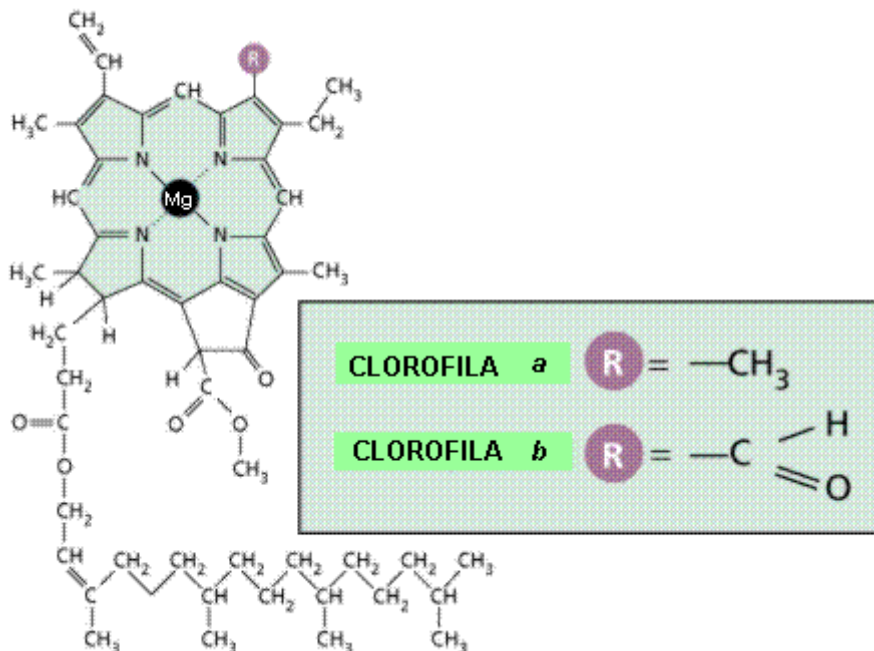


Modificada de: <http://www.whfreeman.com/life/update/>.

Tal como se observa en la fórmula, la clorofila es una molécula compleja que posee un átomo de magnesio en el centro, mantenido por un anillo de porfirinas. Numerosas modificaciones de la clorofila se encuentran entre las plantas y otros organismos fotosintéticos (plantas, algunos protistas, proclorobacteria y cianobacterias).

Los pigmentos accesorios que incluyen a la clorofila b (también c, d, y e en algas y protistas) y los carotenoides, como el beta caroteno y las xantofilas (carotenoide de color amarillo), absorben la energía no absorbida por la clorofila.

La clorofila a ( $R = -\text{CHO}$ ) absorbe sus energías de longitudes de onda correspondientes a los colores que van del violeta azulado al anaranjado-rojizo y rojo.

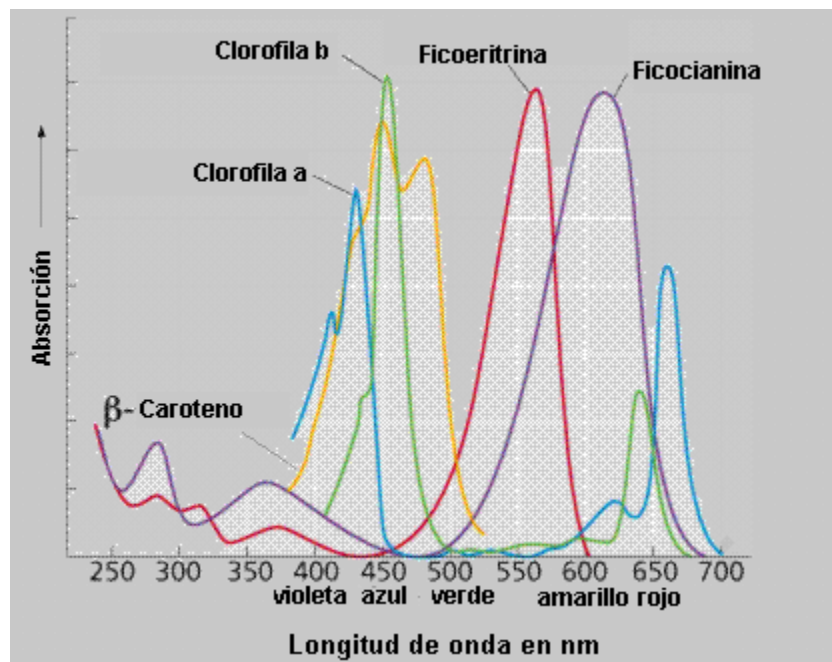


Modificado de: <http://www.whfreeman.com/life/update/>.

Los carotenoides y la clorofila b absorben en la longitud de onda del verde. Ambas clorofilas también absorben en la región final del espectro (anaranjado - rojo), o sea a longitudes de onda larga y menor cantidad de energía. El origen de los organismos fotosintéticos en el mar da cuenta de esto. Las ondas de luz mas cortas (y de mayor energía) no penetran mas allá de los 5 metros de profundidad en el mar. La habilidad para obtener energía de las ondas mas largas (y penetrantes en este caso) pudo constituir una ventaja para las primeras fotosintéticas que no podían permanecer en la zona superior del mar todo el tiempo.

Si un pigmento absorbe luz puede ocurrir una de estas tres cosas:

- la energía se disipa como calor
- la energía se emite inmediatamente como una de longitud de onda más larga, fenómeno conocido como fluorescencia.
- la energía puede dar lugar a una reacción química como en la fotosíntesis. La clorofila solo desencadena una reacción química cuando se asocia con una proteína embebida en una membrana (como en el cloroplasto) o los repliegues de membrana encontradas en ciertos procariontes fotosintéticos como las cianobacterias y ploclorobacteria.



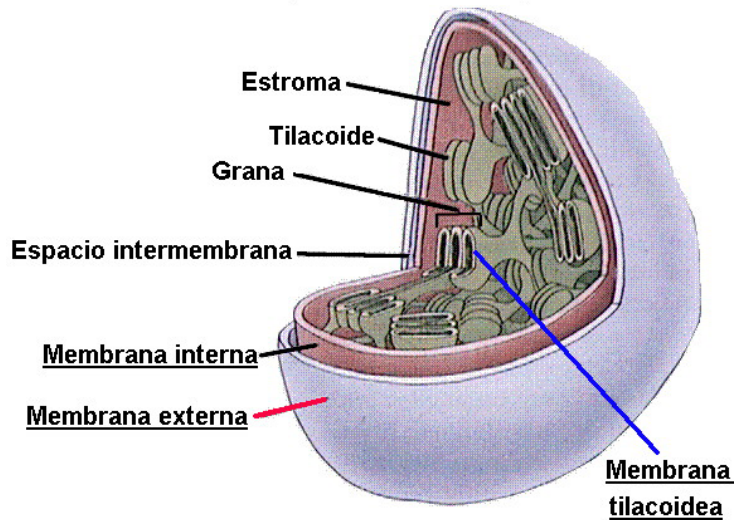
Modificado de: <http://www.whfreeman.com/life/update/>.

## El tilacoide

El **tilacoide** es la unidad estructural de la fotosíntesis. **Procariontes** y **eucariotes** poseen estos sacos/vesículas aplanados en cuyo interior se encuentran los productos químicos que intervienen en la fotosíntesis. Solo los eucariotes poseen cloroplastos (ver el esquema en la página siguiente) con una membrana que los rodea.

Los tilacoides se apilan como pilas de monedas y las pilas toman colectivamente el nombre de grana. El área entre las granas se denomina **estroma**. Observe el esquema del cloroplasto y compárelo con el de una mitocondria, notará que esta tiene dos sistemas de membrana mientras que el cloroplasto tiene tres, formando por lo tanto tres compartimentos.

## Cloroplasto

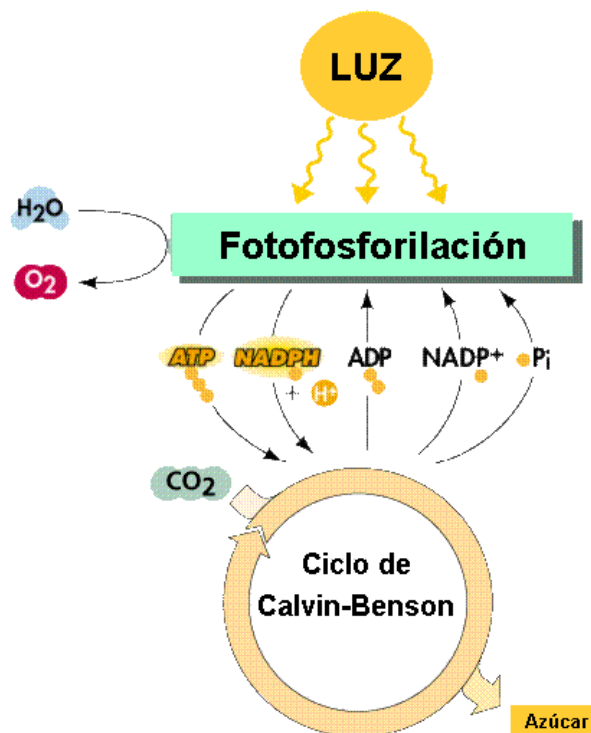


Modificada de: <http://www.whfreeman.com/life/update/>.

### Etapas de la fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso que se desarrolla en dos etapas:

- Reacciones lumínicas: es un proceso dependiente de la luz (etapa clara), requiere de energía de la luz para fabricar ATP y moléculas portadoras de energía NADPH reducido, a usarse en la segunda etapa.
- Ciclo de Calvin- Benson: es la etapa independiente de la luz (etapa oscura), los productos de la primera etapa mas  $\text{CO}_2$  son utilizados para formar los enlaces C-C de los carbohidratos. Las reacciones de la etapa oscura usualmente ocurren en la oscuridad si los transportadores de energía provenientes de la etapa clara están presentes. Evidencias recientes sugieren que la enzima más importante de la etapa oscura esta estimulada indirectamente por la luz, de ser así el termino no sería correcto denominarla "etapa oscura". La etapa clara ocurre en la grana y la oscura en el estroma de los cloroplastos.



Modificada de: <http://www.whfreeman.com/life/update/>.



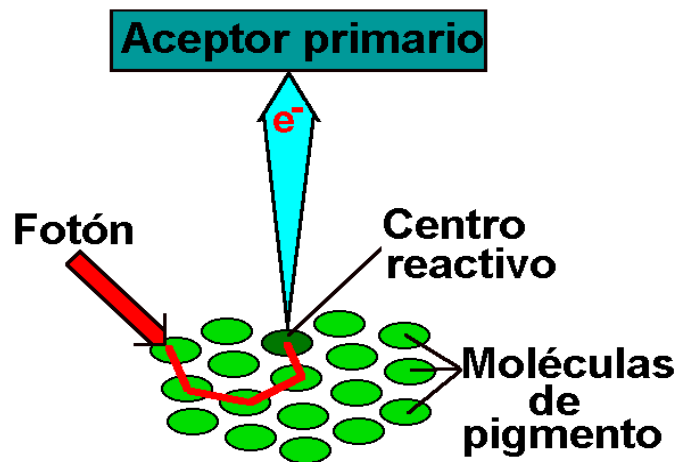
### Etapa clara

En la etapa clara la luz que “golpea” a la clorofila excita a un electrón a un nivel energético superior. En una serie de reacciones la energía se convierte (a lo largo de un proceso de transporte de electrones) en ATP y NADPH. El agua se descompone en el proceso liberando oxígeno como producto secundario de la reacción. El ATP y el NADPH se utilizan para fabricar los enlaces C-C en la etapa oscura.

Los fotosistemas son los conjuntos de moléculas de clorofila y otros pigmentos empaquetados en los tilacoides. En el “corazón” del fotosistema se encuentra la clorofila que absorbe la luz para convertirse en una forma “activada”. La energía contenida en esta clorofila activada se utiliza para hacer funcionar la maquinaria química de la cual depende gran parte de la vida.

Muchos procariotas tienen un solo fotosistema: el **fotosistema II** (si bien fue el primero en la evolución, **fue el segundo en descubrirse**, de allí el II). Los eucariotas usan el **fotosistema II más el fotosistema I**.

El fotosistema I usa la clorofila a en una forma denominada **P700**. El Fotosistema II usa una forma de clorofila conocida como **P680**. Ambas formas “activas” de la clorofila a funcionan en la fotosíntesis debido a su relación con las proteínas de la membrana tilacoide.



Modificado de la página de la University of Minnesota:  
<http://genbiol.cbs.umn.edu/Multimedia/examples.html>.

La fotofosforilación es el proceso de conversión de la energía del electrón excitado por la luz, en un enlace pirofosfato de una molécula de ADP. Esto ocurre cuando los electrones del agua son excitados por la luz en presencia de P680. La transferencia de energía es similar al transporte quimiosmótico de electrones que ocurre en la mitocondria.

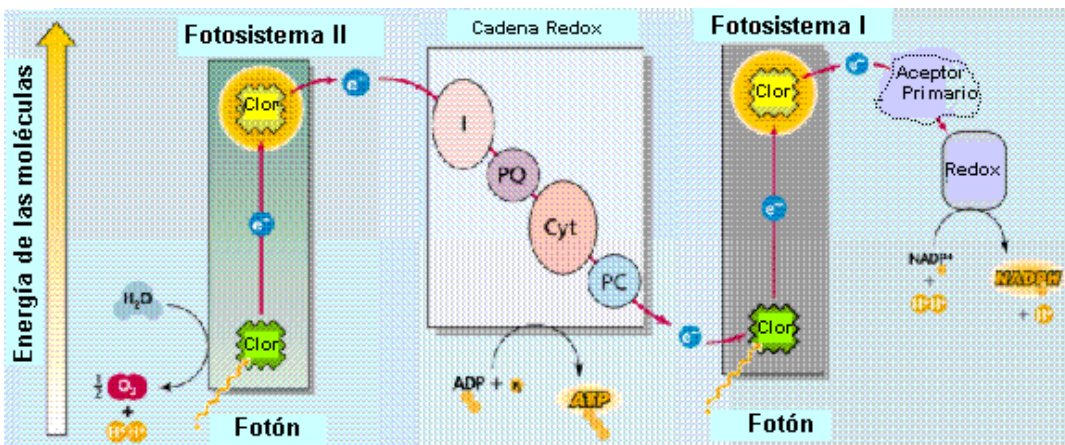
La energía de la luz causa la eliminación de un electrón de una molécula de P680 que es parte del Fotosistema II, el electrón es transferido a una molécula aceptora (aceptor primario), y pasa luego cuesta abajo al Fotosistema I a través de una cadena transportadora de electrones. La P680 requiere un electrón que es tomado del agua rompiéndola en iones  $H^+$  y iones  $O^{2-}$ . Estos iones  $O^{2-}$  se combinan para formar  $O_2$  que se libera a la atmósfera.

La luz actúa sobre la molécula de P700 del Fotosistema I, produciendo que un electrón sea elevado a un potencial mas alto. Este electrón es aceptado por un aceptor primario (diferente del asociado al Fotosistema II).

El electrón pasa nuevamente por una serie de reacciones redox, y finalmente se combina con  $\text{NADP}^+$  e  $\text{H}^+$  para formar NADPH, un portador de H necesario en la fase independiente de la luz. Electrón del fotosistema II reemplaza al electrón excitado de la molécula P700.

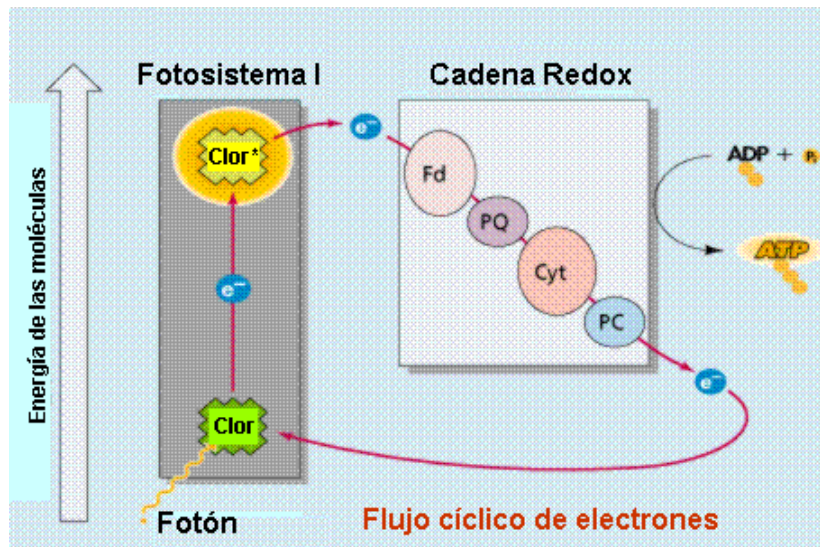
Existe por lo tanto un continuo flujo de electrones (no cíclico) desde el agua al NADPH, el cual es usado para la fijación del carbono.

El flujo cíclico de electrones ocurre en algunos eucariotas y en bacterias fotosintéticas. No se produce NADPH, solo ATP. Esto también ocurre cuando la célula requiere ATP adicional, o cuando no hay  $\text{NADP}^+$  para reducirlo a NADPH.

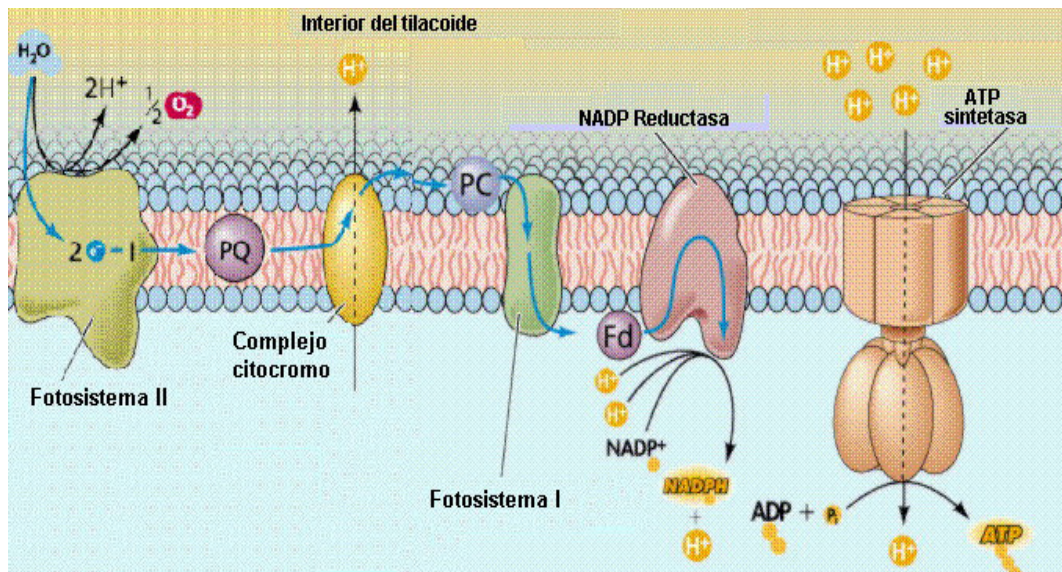


Flujo acíclico de electrones en los dos fotosistemas

En el Fotosistema II, el “bombero” de iones H hacia adentro de los tilacoides (desde el estroma del cloroplasto) y la conversión de  $\text{ADP} + \text{P}$  en ATP es motorizado por un gradiente de electrones establecido en la membrana tilacoidea.



Los diagramas superiores muestran una representación de la fotofosforilación. Hoy se conoce que dicho proceso ocurre en la membrana del tilacoide y está asociado a la síntesis quimiosmótica del ATP (similar al de la mitocondria)



Modificada de: <http://www.whfreeman.com/life/update/>.

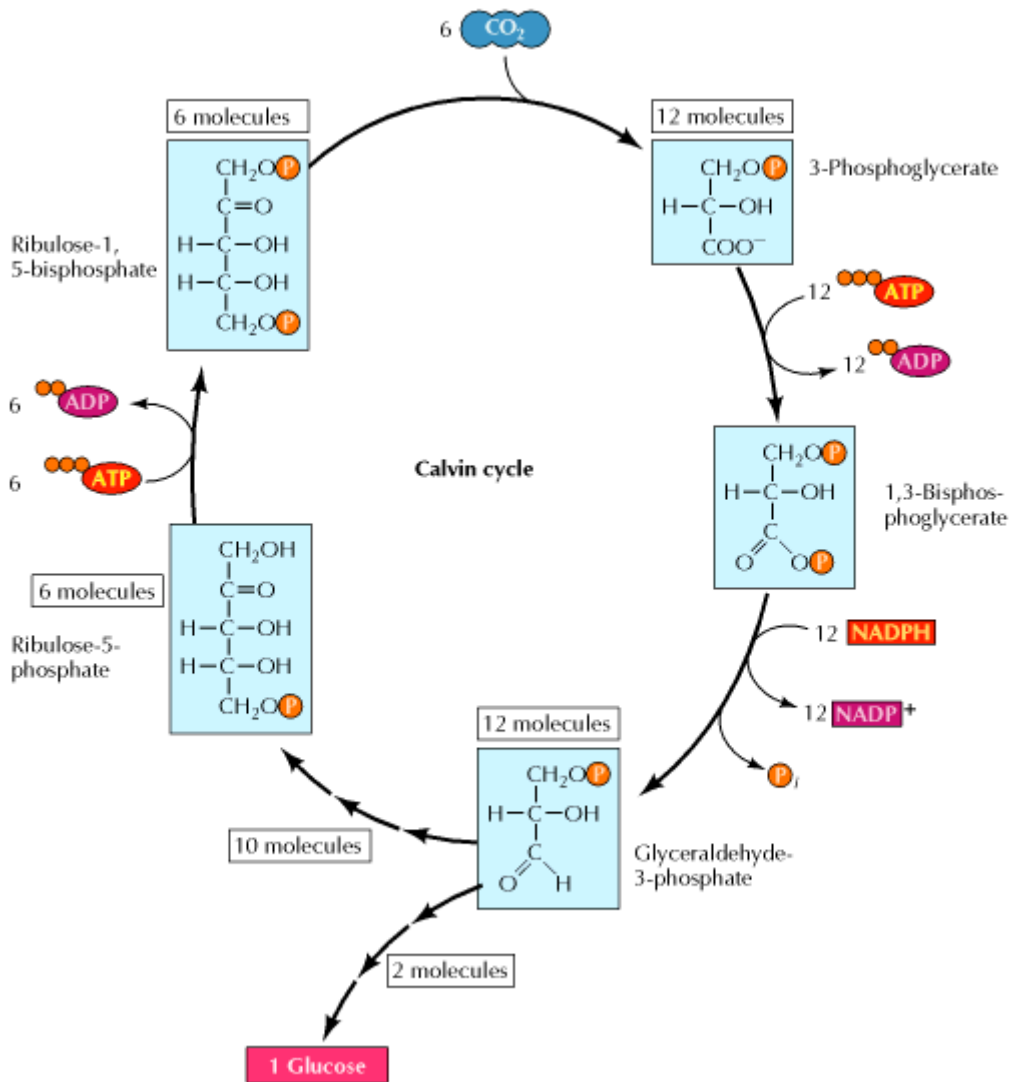
Las **halobacterias**, arqueobacterias que se desarrollan en concentraciones salinas extremas, son aeróbios facultativos, y pueden desarrollarse cuando el oxígeno está ausente. Un pigmento púrpura, conocido como retinal (también se lo encuentra en el ojo humano, ¿la vida inventó dos veces el pigmento?) actúa de manera similar a la clorofila. El complejo de retinal y las proteínas de la membrana se conoce como bacteriorodopsina. El mismo genera electrones que establecen un gradiente de protones que motoriza una bomba ADP-ATP, generando ATP con la luz solar sin clorofila. Esto sostiene la idea que el proceso quimiosmótico es una forma universal de fabricar ATP.

### Reacciones independientes de la luz

Las reacciones que fijan carbono son también conocidas como reacciones “oscuras” o reacciones “independientes de la luz”. El anhídrido carbónico penetra en los unicelulares y autótrofos acuáticos sin necesidad de estructuras especiales. Las plantas terrestres deben protegerse de la desecación y han desarrollado aberturas especiales denominadas estomas que regulan la entrada y salida del gas por las hojas. El anhídrido carbónico de la atmósfera (o del agua en los organismos acuáticos) es capturado y modificado por la adición de hidrógeno para formar carbohidratos. (recuerde que la fórmula general de los carbohidratos es  $[CH_2O]_n$ ). La transformación del anhídrido carbónico en un compuesto orgánico se conoce como **fijación del Carbono**. La energía para ello proviene de la primera fase de la fotosíntesis. Los sistemas vivos no pueden utilizar directamente la energía de la luz, pero pueden a través de una complicada serie de reacciones, convertirla en enlaces C-C y, esta energía puede ser luego liberada por la glicólisis y otros procesos metabólicos.

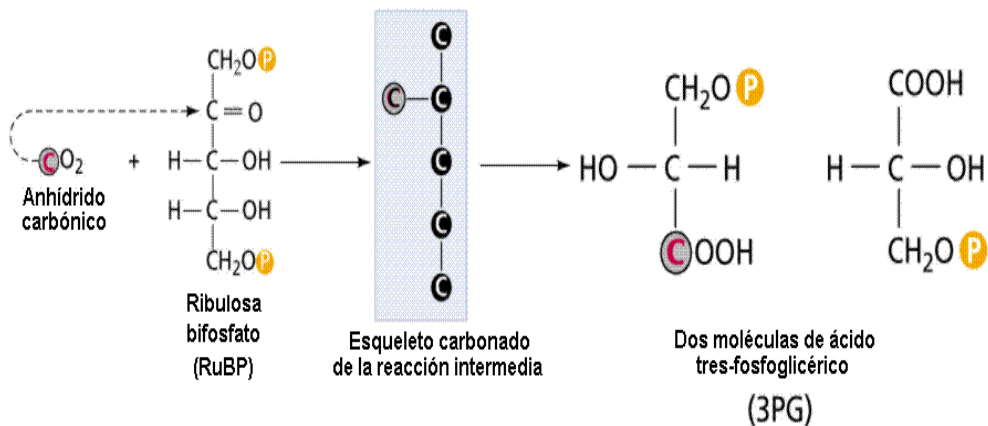
A fines de la segunda guerra mundial, en los laboratorios de Berkeley (California), Melvin Calvin y sus colaboradores, usando Carbono-14 (del cual disponía en abundancia) y las, entonces nuevas, técnicas de intercambio iónico, cromatografía en papel y radioautografía “mapearon” completamente el ciclo del Carbono en la fotosíntesis, por estos trabajos resultó laureado con el premio Nobel en 1961, y el ciclo del carbono se conoce comúnmente como ciclo de Calvin, o de Calvin-Benson.





Ciclo de Calvin. Imagen de [www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov)

El **Ciclo de Calvin** (o de los tres carbonos) se desarrolla en estroma de los cloroplastos (¿donde ocurrirá en los procariontos?). El anhídrido carbónico es fijado en la molécula ribulosa 1,5 bifosfato (RuBP). La RuBP tiene 5 carbonos en su molécula. Seis moléculas de anhídrido carbónico entran en el Ciclo de Calvin y, eventualmente, producen una molécula de glucosa.



Modificado de: <http://www.whfreeman.com/life/update/>.

El primer producto estable del ciclo es el ácido 3- fosfoglicérico (PGA), molécula de tres carbonos. Globalmente 6 moléculas de RuBP (ribulosa bifosfato) se combinan con 6 de anhídrido carbónico y dan 12 de 3-fosfoglicérico. La enzima que cataliza esta reacción es la RuBP carboxilasa (la *rubisco*), **posiblemente la proteína mas abundante del mundo** y se encuentra en la superficie de las membranas tilacoideas.

La energía del ATP y el NADPH generados por los fotosistemas se usan para “pegar” fosfatos (fosforilar) al 3-PGA y reducirlo a fosfogliceraldehido o PGAL, también de tres carbonos.

Del total de 12 moléculas transformadas, dos moléculas de 3-PGAL salen del ciclo para convertirse en glucosa. Las moléculas restantes de PGAL son convertidas por medio del ATP en 6 moléculas de RuBP (5 carbonos), que recomienzan el ciclo.

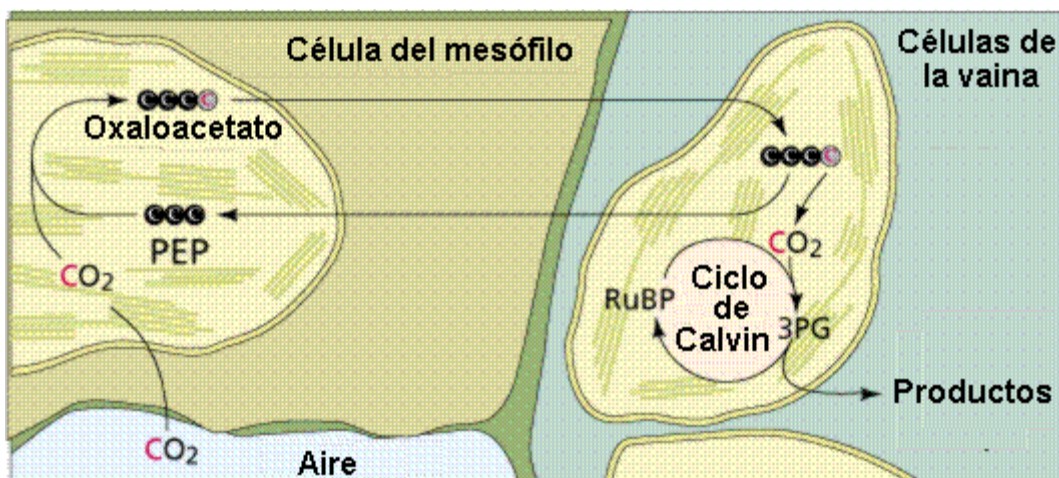
Recuerde la complejidad de los seres vivos, al igual que en el ciclo de Krebs cada reacción es catalizada por una enzima específica.

### Fotorrespiración

La rubisco tiene una desventaja: tiene tanta facilidad para combinarse con el CO<sub>2</sub> para activar la formación de azúcar como de combinarse con el Oxígeno y dar glicolato---> y luego glicina, que termina ---> serina + CO<sub>2</sub> en la mitocondria. Este proceso llamado **Fotorrespiración** usa ATP y NADPH pero **libera** CO<sub>2</sub> en lugar de **fixarlo**.

### La vía de 4 Carbonos

Algunas plantas han desarrollado un ciclo previo para evitar la **Fotorrespiración**, donde la fijación del CO<sub>2</sub> comienza en el fosfoenolpiruvato (PEP), molécula de tres a 3-C, que se convierte en oxalacético de cuatro carbonos. El oxálico es convertido en ácido málico (también de cuatro carbonos). Todo esto ocurre en las células del parénquima clorofiliano del mesófilo y luego el ácido málico pasa a las células de la vaina fascicular donde se desdobra nuevamente en PEP y anhídrido carbónico, que entra en el ciclo de Calvin, mientras que el PEP vuelve a las células del mesófilo. La glucosa formada puede ser transportada rápidamente al resto de la planta.

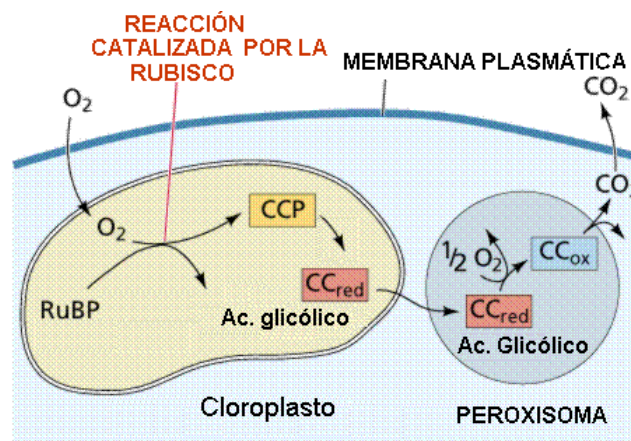


Modificado de: University of Arizona's Bio 181 Page.

La captura del anhídrido carbónico por el PEP es mediada por la enzima PEP carboxilasa, que tiene mayor afinidad por el anhídrido carbónico que la RuBP carboxilasa.

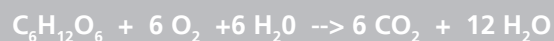
Cuando los niveles de anhídrido carbónico bajan, la RuBP carboxilasa usa oxígeno en vez de anhídrido carbónico, y el resultado es ácido glicólico. Este producto se metaboliza en los **peroxisomas** (en presencia de luz y oxígeno) y este proceso se conoce como fotorrespiración. No produce ATP ni NADPH, es a toda vista un desmantelamiento del ciclo de Calvin lo cual reduce la eficiencia de la captura de anhídrido carbónico. Las plantas que usan la vía de 4 carbonos, a menudo crecen muy juntas, y deben ajustarse a la disminución de anhídrido carbónico que este hecho implica. Lo hacen aumentando la concentración de anhídrido carbónico en ciertas células para prevenir la fotorrespiración.

Las plantas que usan la vía de los cuatro carbonos (por ejemplo caña de azúcar y maíz) evolucionaron en los trópicos y están adaptadas a mayores temperaturas. Note que el oxalacetato y el málico tienen funciones en otros procesos, por lo tanto están presentes en todas las plantas, permitiendo a los científicos hipotizar que la vía de los cuatro carbonos evolucionó independientemente muchas veces, en un mecanismo denominado evolución convergente.



## RESPIRACIÓN CELULAR: CONCEPTOS UNIFICADORES

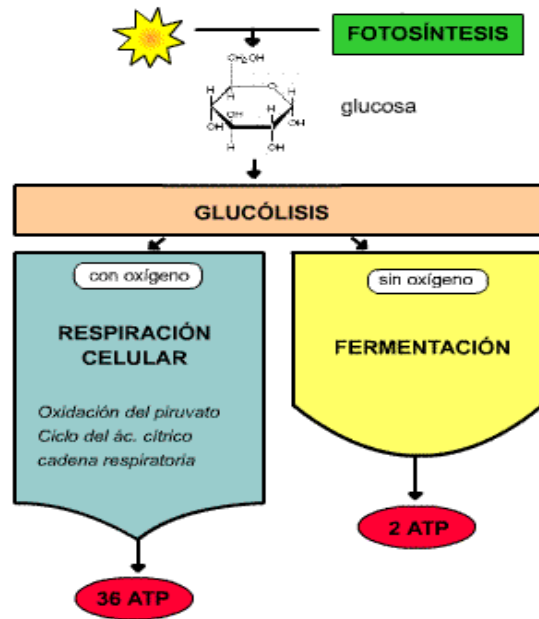
Mientras que la **fotosíntesis** provee los carbohidratos necesarios para las plantas (y los organismos de las cadenas alimenticias siguientes), la **GLICÓLISIS** y la **RESPIRACIÓN CELULAR** son los procesos por los cuales la energía contenida en los carbohidratos es liberada de manera controlada. Durante la respiración la energía libre que se libera es incorporada en la molécula de ATP, que puede ser inmediatamente reutilizado en el mantenimiento y desarrollo del organismo. Desde el punto de vista químico, la respiración se expresa como la oxidación de la glucosa:



El cambio de energía libre es de 686 kcal por mol (180 gr.) de glucosa. A fin de evitar el daño celular (la incineración por la cantidad de calor generado), la energía es liberada en varios pasos:

- **GLUCÓLISIS**: ocurre en el citosol, donde cada molécula de **glucosa**, con sus 6 átomos de Carbono, se oxida parcialmente dando lugar a dos moléculas de **piruvato** (de 3 átomos de Carbono). Se invierten dos ATP pero se generan **cuatro**.

- **RESPIRACIÓN CELULAR:** cuando el ambiente es **aerobio** (contiene  $O_2$ ) y el piruvato se oxida totalmente a dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), liberando la energía almacenada en los enlaces piruvato y atrapándola en el ATP. Se subdivide en etapas:
  - **Ciclo de los ác. tricarboxílicos (o del ác. cítrico):** ocurre en la matriz mitocondrial
  - **Cadena respiratoria:** se lleva a cabo en las membranas mitocondriales.
- **FERMENTACIÓN:** cuando el  $O_2$  está ausente (ambiente anaerobio), el piruvato no produce  $CO_2$ , sino que se forman otras moléculas como el ác. láctico o el etanol.



© www.biología.edu.ar

## Glucólisis

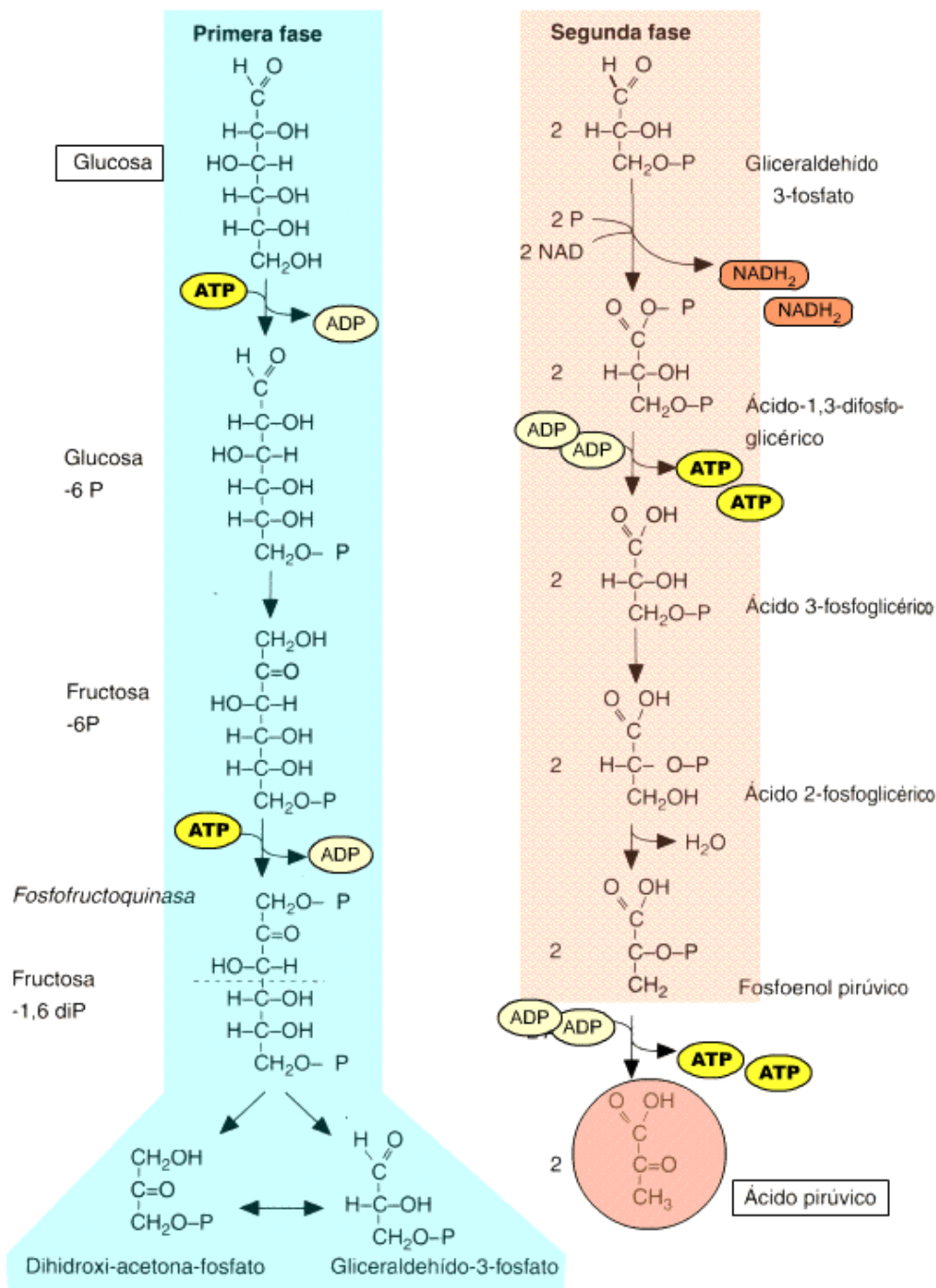
Del griego *glycos*: azúcar y *lysis*: ruptura. Es el primer paso de la respiración, es una secuencia compleja de reacciones que se realizan en el **citósol** de la célula y por el cual la molécula de glucosa se desdobra en dos moléculas de **ác. pirúvico**. Es el ciclo metabólico más difundido en la naturaleza, también se lo conoce como **ciclo de Embden-Meyerhof**. Se lo encuentra en los cinco reinos. Muchos organismos obtienen su energía únicamente por la utilización de este ciclo. El mismo está **catalizado por 11 enzimas** que se encuentran en el citoplasma de la célula pero **no** en las mitocondrias. Recuerde que es el inicio de un proceso que puede continuar con la **respiración celular** (si existe oxígeno) o con la **fermentación** (en ausencia del oxígeno)

El ciclo se puede dividir en dos etapas:

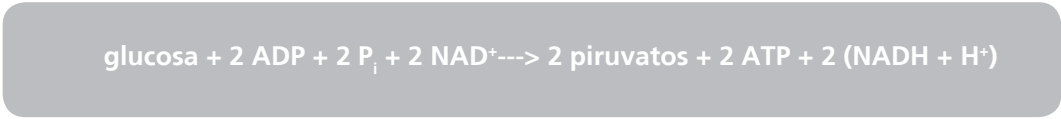
**1. Fase de inversión de energía:** en esta etapa de preparación (fase de 6-carbonos) se activa la glucosa con el agregado de dos grupos fosfatos provenientes del ATP, gasto neto =  $2 \sim Pi$  (o sea dos uniones de alta energía). La molécula de glucosa se divide en dos moléculas de tres carbonos: el **gliceraldehído-3-fosfato (G3P)** y la **dihidroxiacetona fosfato**, ésta última luego se transforma en **G3P**.

**2. Fase de “cosecha” de energía:** las dos moléculas de G3P se convierten finalmente a 2 moléculas de **ácido pirúvico o piruvato**

- Fase de oxidación (producción de energía): cada gliceraldehido-3-fosfato se oxida, liberando ~ 100 kcal. Parte de la energía producida es temporariamente guardada como NADH (reducido). Parte es usada para agregar un fosfato inorgánico a la molécula de 3 carbonos para dar origen al ácido 1-3 difosfoglicérico. El resto de la energía se libera como calor.
- En las reacciones que siguen los grupos fosfato de 1-3 difosfoglicérico son cedidos (uno por vez) al ADP (adenosín difosfato) para formar ATP. Esto se conoce como **fosforilación a nivel de sustrato**.



**Balance neto:**



La energía total que se puede obtener de la glucosa por oxidación aeróbica es = 688 kcal/mol.

La energía total acumulada en 2 ATP = 2 x 7.3 = 14.6 kcal/mol

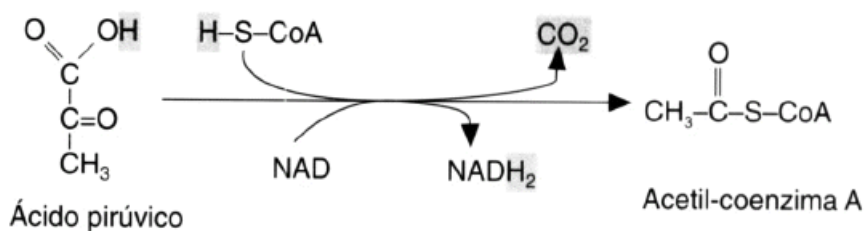
Esto es un ~ **2% de rendimiento**, si se tiene en cuenta la posibilidad de oxidar completamente la glucosa, es decir que el 98% de la energía potencialmente disponible no es usada por la célula.

Los dos NADH + H<sup>+</sup> pasan a la cadena de transporte de electrones en ambiente aerobios y pueden dar mas ATP, recuperándose el NAD en su forma oxidada.

**Oxidación del piruvato**

Es el lazo entre la glucólisis y la respiración celular Es un complejo de reacciones catalizado por un sistema de enzimas localizado en la membrana mitocondrial interna. Resumen de los eventos:

- El piruvato difunde hasta la matriz de la mitocondria, cruzando ambas membranas.
- Cada ác. pirúvico reacciona con la coenzima-A, desdoblándose en CO<sub>2</sub> y un grupo acetilo de dos carbonos que se une inmediatamente a la coenzima-A formando **acetil coenzima-A** (acetilCoA) que entrará al ciclo de los ác. tricarboxílicos. En esta reacción se forma un NAD + H<sub>2</sub>

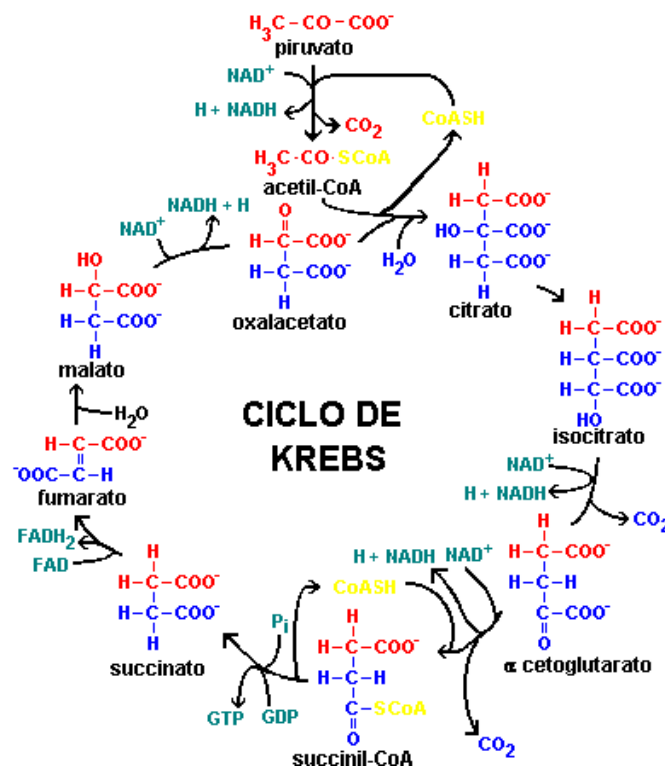


**Nota:** La Acetil-CoA puede también producirse a partir de lípidos ( por beta oxidación) o del metabolismo de ciertos aminoácidos. Su formación es un nodo importante del metabolismo central.

**Ciclo de los ácidos tricarboxílico**

Este ciclo, también conocido como **Ciclo de Krebs** o Ciclo del ác. cítrico tiene esencialmente la función de completar el metabolismo del piruvato derivado de la glicólisis. Las enzimas del **ciclo de los ácidos tricarboxílicos** (Krebs) están localizadas en la matriz de la mitocon-

dria (unas pocas de estas enzimas están la membrana interna de la mitocondria). Su punto de partida es el Acetil-CoA, obteniéndose CO<sub>2</sub> y transportadores de electrones reducidos.



Para empezar el ciclo: Acetil-CoA (2-C) + oxalacetato (4-C) -----> + ácido cítrico (6-C, tres grupos ácidos)

1. Isomerización del citrato a isocitrato (6-C, tres grupos ácidos )
2. **Oxidación** -----> alfa-cetoglutarico (5-C) + CO<sub>2</sub> + NADH
3. **Oxidación** -----> succinil-CoA (4-C) + CO<sub>2</sub> + NADH
4. **Fosforilación a nivel de sustrato** succinil-CoA (4-C) + GDP -----> succinato (4-C) + GTP (Note: GTP con ADP se puede interconvertir en ATP)
5. **La oxidación** -----> fumarato (4-C) + FADH<sub>2</sub>
6. convierte el fumarato en maleato, una nueva oxidación -----> oxalacetato (4-C) + NADH

**Etapas siguientes:**

**Balance de un ciclo:** Acetil-CoA (2-C) + 3 NAD<sup>+</sup> + FAD -----> 2 CO<sub>2</sub> + 3NADH + FADH<sub>2</sub> + ATP

Balance para una molécula de glucosa que se convierte en 2 piruvatos, luego en 2 Acetil-CoA y luego a CO<sub>2</sub> en la vía el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, con todo el NADH y el FADH convertidos en ATP por la respiración:



**Nota:** 2 de los NADH son formados en el citoplasma durante la glicólisis. Para ser transportados a la matriz mitocondrial para ser posteriormente oxidado por la cadena transportadora de electrones, tienen que pasar por medio de transporte activo al interior de la mitocondria, Esto “cuesta” 1 ATP per NADH. Por lo tanto el balance final resulta en **36 ATP** por glucosa y no 38 ATP.

### Balance del Ciclo de los Ácidos Tricarboxílicos

El ciclo de los ácidos tricarboxílicos completa la oxidación del carbono del piruvato a su forma más oxidada ( $\text{CO}_2$ ); los electrones originalmente en los enlaces C-H pasan por los portadores NADH y FADH para ser usados en la respiración. La eficiencia de la respiración llega casi al 40%. de la energía presente inicialmente en la molécula de glucosa, y es conservada en forma de ATP; el resto se libera como calor

Si bien las células pueden transferir electrones directamente desde el NADH al oxígeno, esto produciría directamente la liberación de la energía como **calor**. Si los electrones se transfieren directamente al oxígeno:



Si el NADH tiene ~52 kcal de energía, y solo son necesarias 7,3 kcal para hacer un ATP, se puede calcular en  $52/7,3 = \sim 7$  ATP por NADH si la conversión de energía fuese de un 100% de eficiencia. En la práctica las células han desarrollado sistemas que le permiten obtener hasta un **40% de eficiencia** (~3 ATP/NADH) bajo condiciones óptimas.

Al final del Ciclo de Krebs la célula ha ganado solo 4 ATP, 2 en la glucólisis y dos en el ciclo de Krebs, sin embargo ha capturado electrones energéticos en 10 NADH<sub>2</sub> y 2 FADH<sub>2</sub>. Estos transportadores depositan sus electrones en el **sistema de transporte de electrones** localizado en la membrana interna de la mitocondria.

### Cadena transportadora de electrones (CTE)

Es un sistema multienzimático ligado a membrana que transfiere electrones desde moléculas orgánicas al oxígeno.

La CTE comprende dos procesos:

1. Los **electrones** son transportados **a lo largo** de la membrana, de un complejo de proteínas transportador (“*carrier*”) a otro.
2. Los **protones** son translocados **a través** de la membrana, esto significa que son pasados **desde el interior** o matriz hacia el espacio intermembrana. Esto construye un **gradiente de protones**. El **oxígeno** es el **ceptor terminal del electrón**, combinándose con electrones e iones  $\text{H}^+$  para producir **agua**.



Los tres componentes de la cadena respiratoria son: 3 grandes complejos proteicos con moléculas transportadoras y sus enzimas correspondientes, un componente no proteico: UBIQUINONA (Q) que están embebidos en la membrana y una pequeña proteína llamada citocromo c que es periférica y se ubica en el espacio intermembrana, pero anclada laxamente a la memb. interna. En la animación superior se muestra como el NADH transfiere iones  $H^+$  y electrones dentro de la cadena transportadora de electrones. La secuencia de eventos:

1. Pasa los electrones a través de el 1° complejo (**NADH-Q reductasa**) hasta la **ubiquinona**, los iones  $H^+$  traspasan la membrana hacia el espacio intermembrana.
2. el 2° complejo (**citocromo c reductasa**) transfiere electrones desde la Q a el **citocromo c**, generando un nuevo bombeo de protones al exterior.
3. el 3° complejo es una **citocromo c oxidasa**, pasa los e- del citocromo c al **oxígeno**, el oxígeno reducido ( $1/2 O_2$ -) toma dos iones  $H^+$  y forma **H<sub>2</sub>O**.

Balance neto: los electrones entran a la CTE desde portadores tales como el NADH o el FADH, llegan a la “oxidasa terminal” (una oxígeno-reductasa) y se “pegan” al oxígeno.

### Gradiente de protones y fosforilación oxidativa

**Hipótesis Quimiosmótica** (Peter Mitchell, 1961). A medida que los electrones fluyen por la CTE, a ciertas etapas los protones ( $H^+$ ) son transferidos desde el interior al exterior de la membrana. Esto construye un gradiente de protones, dado que las cargas + son retiradas del interior mientras que las -, permanecen en el interior (en gran parte como iones  $OH^-$ ), el pH en la cara externa de la membrana puede llegar a un pH 5,5, mientras que el pH justo en la cara interna de la misma puede llegar a 8,5 ---> la diferencia es de **3 unidades de pH**, recuerde que el pH es igual a  $-\log$  de  $[H]$  y por lo tanto 3 unidades de pH significan una diferencia de concentración de  $H^+$  estimada en 1000 x entre ambas caras de la membrana.

Y esto representa **energía potencial** acumulada como: Gradiente de protones= **fuerza móvil de protones** (“protonmotive force”), y dado que la membrana es básicamente **impermeable a los protones**, por lo tanto el gradiente no se desarma por una constante re-entrada de los mismos, y teniendo en cuenta que **la ATP sintetasa** complejo proteico (conocido también como “*lollipop*”, complejo F1, ATPasa mitocondrial) contiene el único canal para la entrada del protón, por lo tanto a medida que los protones pasan por el canal, se produce la siguiente reacción:

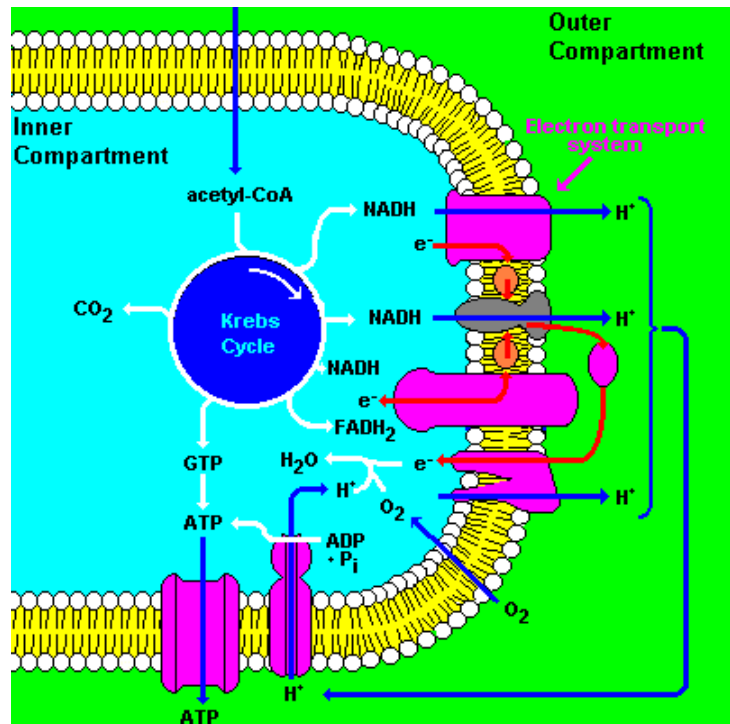


Este proceso puede llamarse: **fosforilación quimiosmótica** (asumiendo que la hipótesis quimiosmótica sea la correcta), o **fosforilación oxidativa** (sin asumir respecto al mecanismo).

Los **Protones** (indicados por +) entran nuevamente en la matriz mitocondrial a través de los canales que forma el complejo enzimático de la **ATP sintetasa**. Esta entrada se acopla a la síntesis de ATP a partir de ADP y Fosfato ( $P_i$ )

Puntos claves:

1. Los **protones** son transferidos **a través de** la membrana, desde la matriz al espacio intermembrana, como resultado del transporte de electrones que se originan cuando el **NADH** cede un hidrógeno. La continuada producción de esos protones crea un **gradiente de protones**.
2. La **ATP sintetasa** es un gran complejo proteico con canales para protones que permiten la re-entrada de los mismos.
3. La **síntesis de ATP** se produce como resultado de la corriente de protones fluyendo a través de la membrana:  $ADP + P_i \rightarrow ATP$



## Fermentación

El término fermentación, en su acepción estricta, se refiere a la obtención de energía en ausencia de oxígeno y generalmente lleva agregado el nombre del producto final de la reacción. Pasteur la denominó "*la vie sans l'air*" o "*la vida sin aire*".

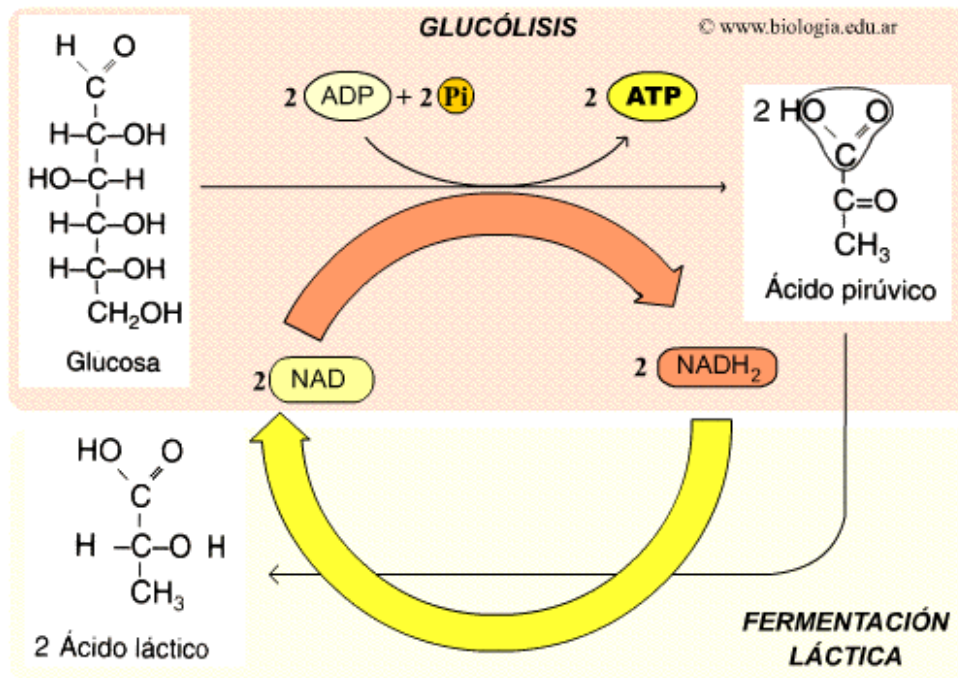
El **piruvato** (o moléculas derivadas del piruvato) se encuentra disponible luego del proceso de glicólisis. Muchas células los usan como aceptor terminal, creando productos de desecho que se excretan de la célula.

Nota: estos residuos se excretan en enormes cantidades dado que, en razón del bajo rendimiento, son necesarias muchas moléculas de glucosa para producir la energía que necesita la célula. Estos residuos todavía contienen energía aprovechable. Si bien este sistema no es tan eficiente como la respiración, permite que el catabolismo continúe, y esto es mejor que nada.

## Fermentación Láctica



Se produce en muchas bacterias (bacterias lácticas), también en algunos protozoos y en el músculo esquelético humano. Es responsable de la producción de productos lácteos acidificados  $\rightarrow$  yoghurt, quesos, cuajada, crema ácida, etc. El ácido láctico tiene excelentes propiedades conservantes de los alimentos.

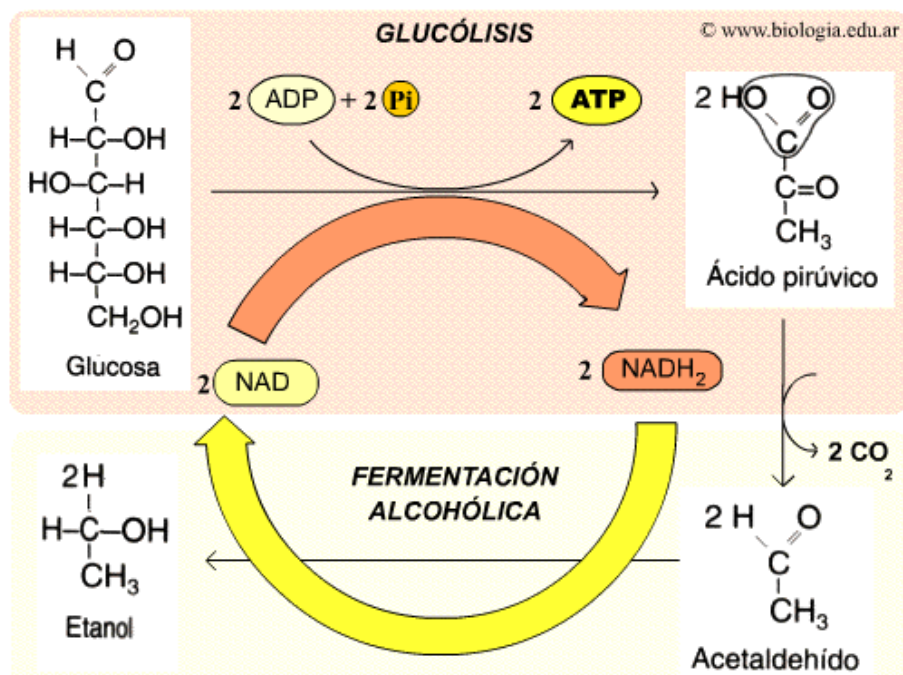


### Fermentación alcohólica

1. piruvato -----> acetaldehído + CO<sub>2</sub>
2. acetaldehído + NADH + H<sup>+</sup> -----> etanol + NAD<sup>+</sup>

Dos reacciones sucesivas:

Se lo encuentra en levaduras, otros hongos y algunas bacterias. La fermentación alcohólica es la base de las siguientes aplicaciones en la alimentación humana: pan, cerveza, vino y otras.



## NATURALEZA Y FLUJO DE LA INFORMACIÓN GENÉTICA

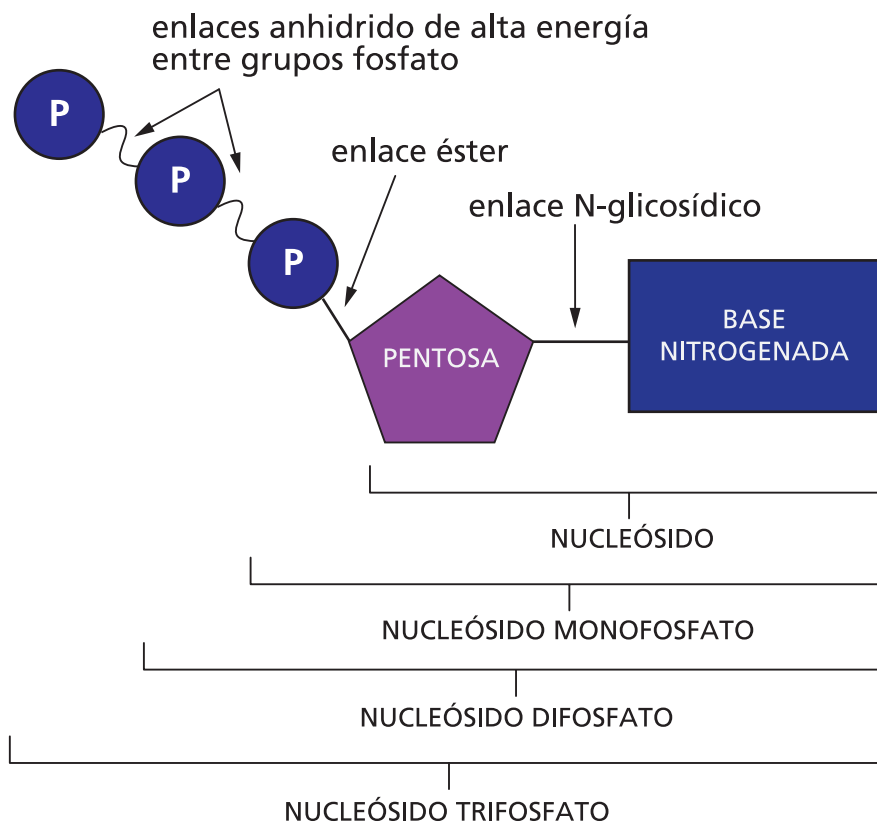
### Nucleótidos

Un nucleótido se forma por la combinación de tres moléculas: una **base nitrogenada**, una **pentosa** y **ácido fosfórico**.

Los nucleótidos pertenecen a dos grupos distintos, según el tipo de pentosa que contienen: los que contienen ribosa son los **ribonucleótidos** y los que contienen desoxirribosa son los **desoxirribonucleótidos**.

A su vez, existen dos grupos de bases nitrogenadas: las **púricas**, formadas por dos anillos de carbono y nitrógeno y las **pirimídicas**, de menor tamaño que las anteriores, pues constan de un solo anillo. Las bases púricas son adenina (A) y guanina (G) y las pirimídicas incluyen citosina (C), timina (T) y uracilo (U).

La unión de la base nitrogenada con la pentosa forma un **nucleósido**. A éste pueden añadirse 1, 2 ó 3 moléculas de ácido fosfórico. Así, se obtienen nucleótidos que se nombran como nucleósidos monofosfato, difosfato o trifosfato (fosfato es el radical que deriva del ácido fosfórico, una vez que éste se une al nucleósido).



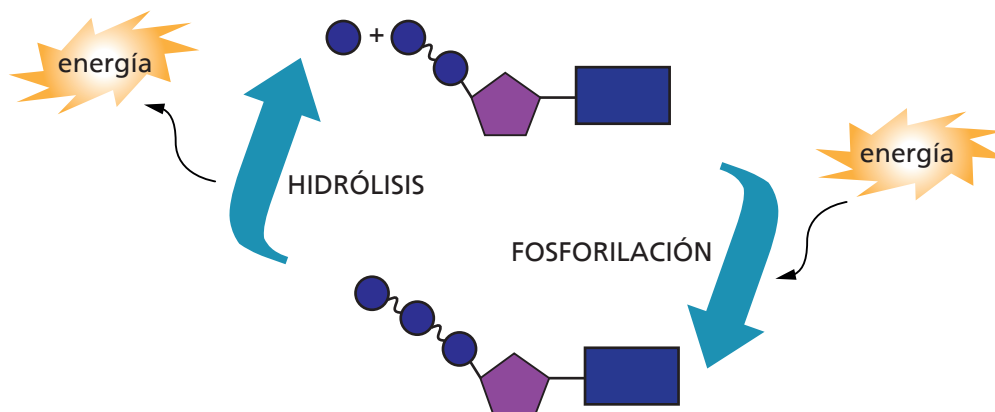
Todas las uniones involucradas se producen por **reacciones de condensación**. La pentosa se enlaza por su C1 a un átomo de nitrógeno de la base nitrogenada, formando un enlace N-glicosídico y por su C5 a un fosfato, mediante un enlace éster.

**NOMENCLATURA DE NUCLEÓSIDOS Y NUCLEÓTIDOS**

Pentosa	Base nitrogen.	Nucleósido	Nucleótido		
			Monofosfato	Difosfato	Trifosfato
<b>Ribosa</b>	Adenina	Adenosina	AMP	ADP	ATP
	Guanina	Guanosina	GMP	GDP	GTP
	Citosina	Citidina	UMP	UDP	UTP
	Timina	Timidina	TMP	TDP	TTP
	Uracilo	Uridina	UMP	UDP	UTP
<b>Desoxirribosa (d-Ribosa) d=desoxi</b>	Adenina	dAdenosina	d-AMP	d-ADP	d-ATP
	Guanina	dGuanosina	d-GMP	d-GDP	d-GTP
	Citosina	d-Citidina	d-CMP	d-CDP	d-CTP
	Timina	d-Timidina	d-TMP	d-TDP	d-TTP
	Uracilo	d-Uridina	d-UMP	d-UDP	d-UTP

Los fosfatos se unen entre sí por enlaces anhídrido. Los enlaces de tipo anhídrido entre los grupos fosfato pertenecen a un tipo de **unión de alta energía**. Se los denomina así puesto que almacenan más energía que otros enlaces covalentes. Esto se debe a que los grupos fosfato tienden a ceder protones, adquiriendo cargas negativas que se repelen entre sí; por lo tanto, para unirlos es necesario vencer la fuerza de repulsión, es decir, se debe entregar una cantidad mayor de energía. Inversamente, cuando estas uniones se hidrolizan, la energía es liberada.

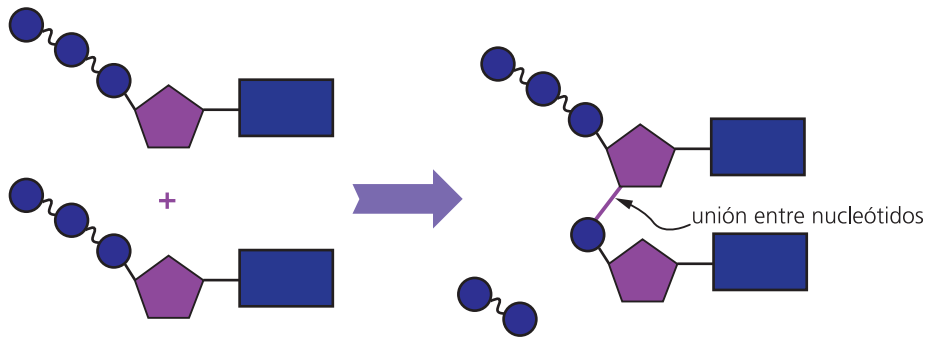
A causa de la presencia de los enlaces de alta energía, los nucleósidos difosfato y trifosfato son utilizados como **intermediarios energéticos**: guardan o ceden una cierta cantidad de energía mediante la formación o hidrólisis de un solo enlace.



Además de la función de **intermediarios energéticos**, desempeñada principalmente por los ribonucleótidos de adenina (difosfato de adenosina = ADP y trifosfato de adenosina = ATP), los nucleótidos libres son componentes de **coenzimas**; como tales se unen a ciertas enzimas para cuyo funcionamiento resultan indispensables.

Pero la función de los nucleótidos que nos ocupará en este capítulo es la que cumplen como **monómeros de los ácidos nucleicos**. Los ribonucleótidos se polimerizan entre sí para formar ácido ribonucleico (ARN), mientras que los desoxirribonucleótidos se polimerizan dando origen al ácido desoxirribonucleico (ADN).

La reacción de polimerización requiere la presencia de nucleótidos trifosfato como sustratos. Sin embargo, al formarse el enlace entre dos nucleótidos, el que se incorpora a la cadena pierde sus dos fosfatos más externos. Así, una vez formados los polímeros, éstos consisten en cadenas de nucleótidos monofosfato.

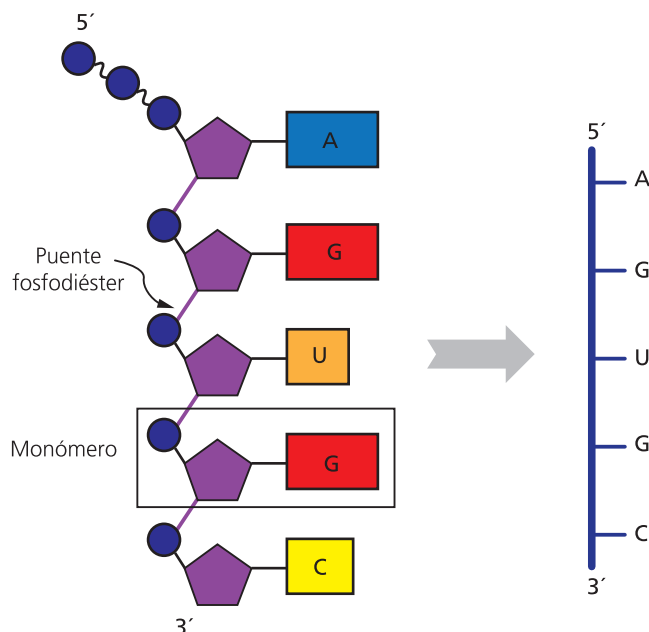


### Ácido ribonucleico (ARN)

El ácido ribonucleico, o **ARN**, es un **polímero lineal de ribonucleótidos**. Los monómeros del ARN son nucleótidos de cuatro clases: de **adenina**, de **guanina**, de **citosina** y de **uracilo**; en el ARN no hay nucleótidos de timina. Estas cuatro clases de nucleótidos se repiten, en diferentes secuencias, a lo largo de las cadenas de ARN.

Los nucleótidos se enlazan entre sí mediante **enlaces fosfodiéster**. Dichos enlaces se producen al reaccionar el hidroxilo unido al carbono en posición 3 (C 3') de la ribosa del primer nucleótido, con el grupo fosfato unido al carbono en posición 5 (C 5') del nucleótido entrante. Por lo tanto, los dos extremos de la cadena son distintos: el primer nucleótido de la cadena tiene grupo fosfato libre en posición 5', mientras que el último tiene un hidroxilo libre en posición 3'. Los extremos de la cadena de ARN se nombran entonces como 5' y 3', respectivamente.

Todas las moléculas de ARN comparten esta estructura; sin embargo, hay **variaciones** que dependen de la longitud de cadena, la secuencia de bases, las modificaciones químicas operadas posteriormente sobre la molécula y el plegamiento o estructura tridimensional que adopta la cadena lineal.



Todos los ARN se sintetizan en el núcleo, pues su síntesis requiere ADN como molde, aunque muchos de ellos son transportados luego al citoplasma.

Existen tres tipos principales de ARN que participan en forma directa en la síntesis de proteínas: el **ARN mensajero (ARNm)**, el **ARN ribosomal (ARNr)** y el **ARN de transferencia (ARNt)**. Éstos se localizan en el citoplasma.

Otros ARN, llamados **ARN pequeños**, ubicados tanto en el núcleo como en el citoplasma, participan de diversas formas en procesos relacionados con la maduración y la expresión de los anteriores.

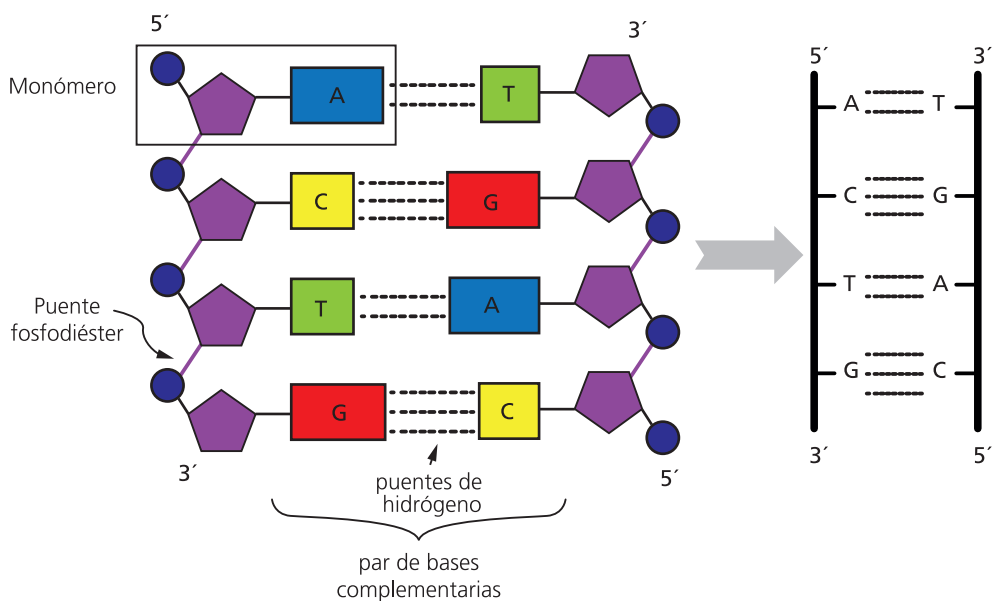
## Ácido desoxirribonucleico (ADN)

El ADN está formado por **dos cadenas de desoxirribonucleótidos**. En cada cadena están presentes cuatro clases de nucleótidos: de **adenina**, de **guanina**, de **citocina** y de **timina**; en el ADN no hay nucleótidos de uracilo. Los nucleótidos de una misma cadena se unen mediante **puentes fosfodiéster**.

Las dos cadenas que forman la molécula de ADN son **antiparalelas**, pues están orientadas o “corren” en sentido inverso ( $5' \rightarrow 3'$  y  $3' \rightarrow 5'$ ).

Además, ambas cadenas se enfrentan por sus bases, que establecen entre sí **uniones del tipo puente de hidrógeno**. Los pares de bases (pb) que se constituyen al enfrentarse las cadenas no lo hacen al azar, sino que siempre se aparean una base púrica y una pirimídica; más específicamente: adenina con timina y citosina con guanina.

Este apareamiento específico se produce por dos motivos: por una limitación estérica (espacial) y por la composición de las bases. La limitación estérica se debe a las bases púricas son más grandes que las pirimídicas (7 y 4 Å, respectivamente). Si las bases se enfrentasen al azar, la molécula de ADN no tendría un diámetro constante, sino zonas anchas, donde se acoplaran dos base púricas, angostas, donde se unieran dos pirimídicas, e intermedias, si el par se formara con una base de cada tipo. Al complementarse una base púrica con una pirimídica, el ancho del par de bases y de la molécula toda, es constante (par de bases=7+4=11). Esto hace que la estructura sea más estable.



Además, tanto la adenina y la timina por un lado, como la citosina y la guanina por el otro, poseen sustituyentes en las posiciones adecuadas para establecer uniones puentes de hidrógeno. Entre adenina y timina se forman dos y entre citosina y guanina, tres puentes de hidrógeno.

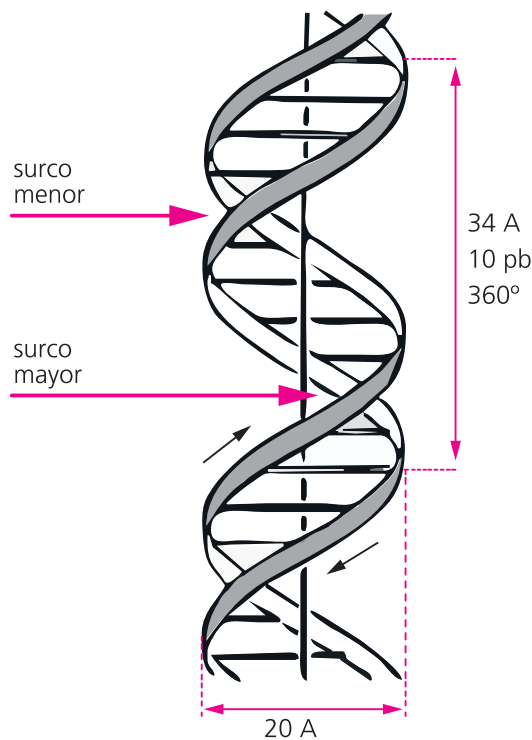
Esta **regla de complementariedad** entre las bases determina que la composición de bases de una cadena quede absolutamente supeditada a la de la otra cadena que forma la molécula; ambas cadenas son complementarias. Como ya veremos, este hecho es esencial para los mecanismos de autoduplicación y transcripción.

En lo que respecta a la secuencia de bases de una cadena, no existen restricciones: las bases pueden sucederse en cualquier orden.

Las **dos cadenas antiparalelas y complementarias** adoptan en el espacio una **estructura helicoidal dextrógira** (con giro hacia la derecha), como si se enrollaran sobre un cilindro imaginario. Por eso se ha comparado a la molécula de ADN con una escalera de caracol. Las barandas estarían representadas por los ejes laterales de las cadenas, sucesiones de pentosa y fosfato unidos por los puentes fosfodiéster. Entre ambas “barandas”, los pares de bases, perpendiculares al eje, serían los escalones.

Este tipo de disposición, en la cual pentosas y fosfatos se exponen en el exterior, mientras las bases se ocultan en el interior de la doble hélice, responde al comportamiento de dichas moléculas en medio acuoso. En efecto, la pentosa y el fosfato son hidrofílicos, en tanto las bases son hidrofóbicas.

El ancho total de la molécula de ADN es de 20 Å; los pares de bases o “escalones”, se suceden a intervalos de 3,4 Å a lo largo de la molécula. Debido al giro de la molécula, cada par de bases tiene una rotación de 36° con respecto al anterior. Esto significa que, cada 34 Å, la molécula abarca 10 pb y completa un giro de 360°.



Modelo del ADN de Watson y Crick

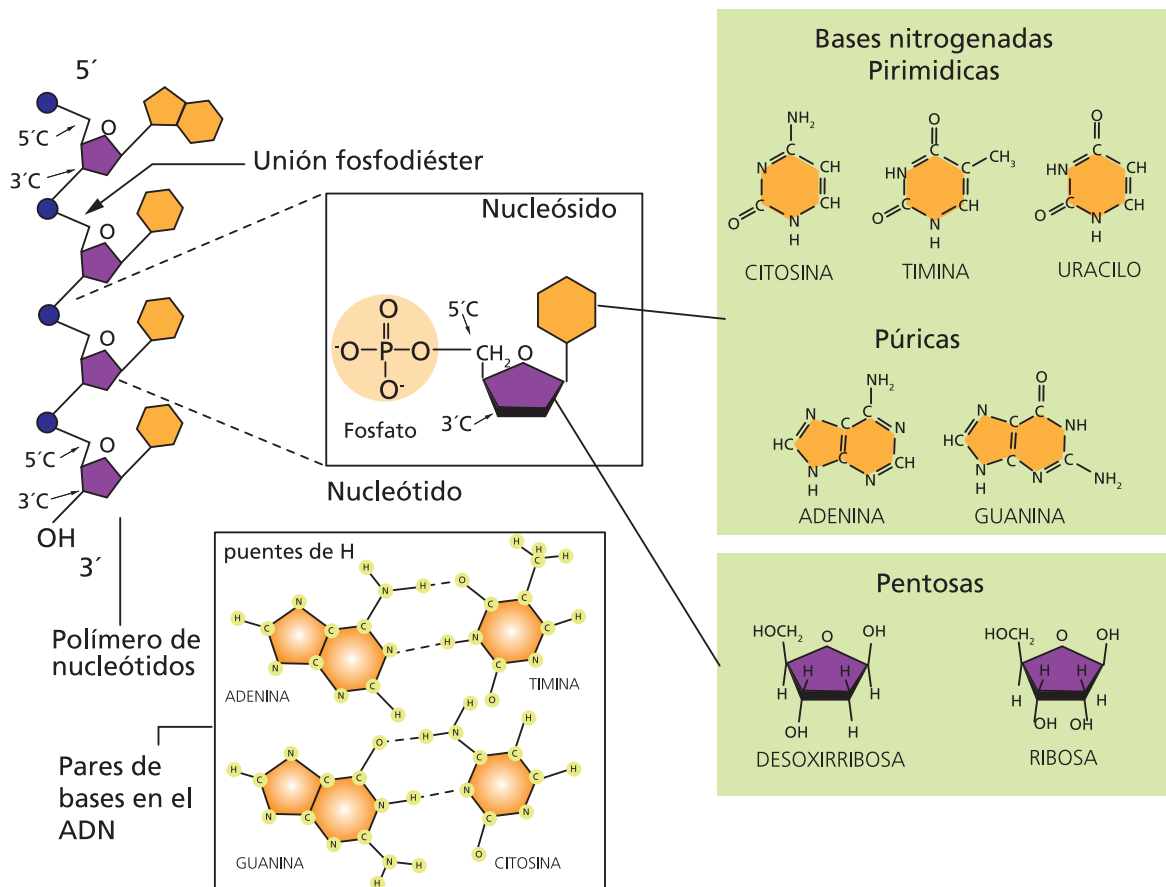


La descripción precedente de la estructura del ADN corresponde a un modelo presentado conjuntamente en 1953 por el biólogo James Watson y el físico Francis Crick, el cual les valió el Premio Nobel de Fisiología o Medicina, en 1962; se conoce como “**el modelo de Watson y Crick**”. Watson y Crick dilucidaron la estructura de ADN partiendo de algunos datos previos, que lograron unir, literalmente, como piezas de un rompecabezas. Hasta entonces, se conocía la composición química del ADN, pero no la forma en que sus componentes se unen. **Chargaff** ya había señalado, unos años antes, que en el ADN de distintas procedencias se cumplían las siguientes reglas: el porcentaje de adenina coincidía con el de timina y el porcentaje de guanina coincidía con el de citosina.

Por otro lado, estudios cristalográficos realizados sobre el ADN con la técnica de difracción de rayos X, ofrecían imágenes del ADN que parecían compatibles con una estructura helicoidal. Estos datos habían sido obtenidos por **Rosalind Franklin y Maurice Wilkins**, quienes los pusieron en conocimiento de Watson y Crick mientras desarrollaban su investigación.

Watson y Crick construyeron modelos moleculares tridimensionales de los bloques químicos que componen el ADN. Con ellos, intentaron armar una estructura molecular tridimensional, que fuera coherente con las propiedades químicas, el comportamiento frente a agua y la geometría de dichos bloques y también con los datos previos. Así surgió el modelo del ADN. La comprensión de la estructura de esta molécula, a la cual ya se le había adjudicado el rol de material genético, fue el desencadenante del acelerado crecimiento de la Biología Molecular que se produjo desde entonces.

### Fórmulas de Nucleótidos y Ácidos nucleicos



## Genoma y genes

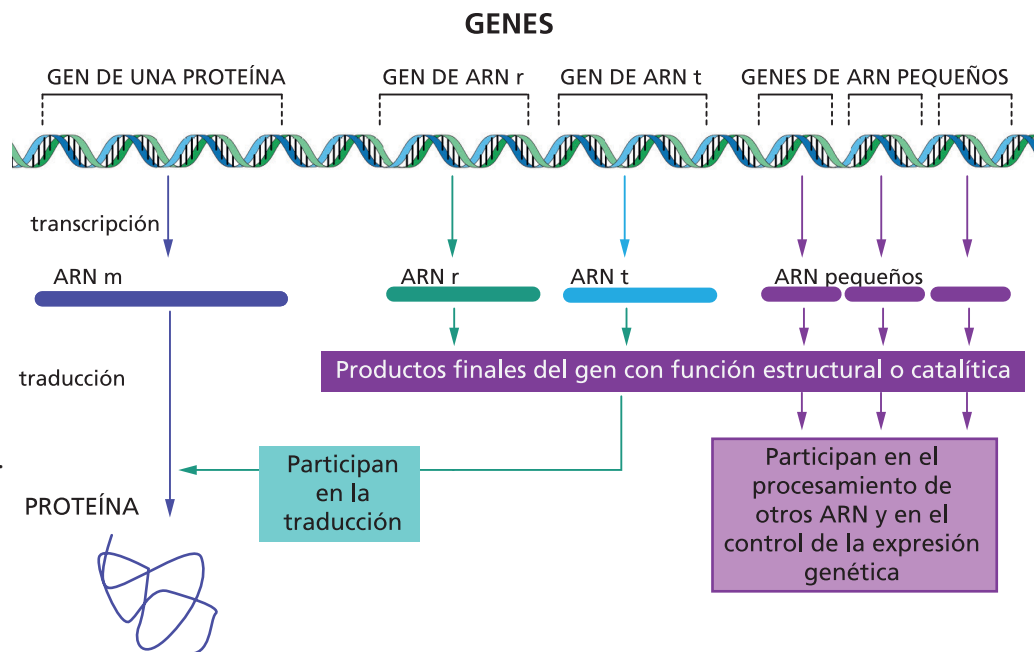
**El genoma de una célula es la totalidad de la información genética contenida en su secuencia completa de ADN.** (Cabe aclarar que al hablar de “secuencia”, nos referimos a la secuencia de nucleótidos. Sin embargo, como éstos solamente se diferencian en la base, se utilizan las expresiones “secuencia de nucleótidos” y “secuencia de bases” en forma indistinta).

Algunas partes en la secuencia de un genoma son **genes**; otras partes son **regiones intergénicas**.

Entre los genes se incluyen los fragmentos que contienen **información para fabricar una proteína**. Los genes que llevan información codificada para producir proteínas se transcriben en ARNm. Esto es, se fabrica una molécula de ARNm que copia la secuencia de bases del gen. Luego, la información que lleva codificada el ARNm es decodificada o traducida en los ribosomas. Como resultado, se fabrica una proteína según las instrucciones del gen.

**Otros genes se transcriben, pero no se traducen.** Significa que un fragmento de ADN se utiliza como molde para sintetizar una molécula de ARN, pero éste no tiene información codificada para fabricar una proteína. El ARN que se obtiene en este caso es el producto final del gen y tiene otra función, que puede ser estructural, o catalítica. En alguna de estas dos categorías entran todos los demás tipos de ARN, distintos del ARNm.

Por lo tanto, **un gen puede definirse como un fragmento dentro de la secuencia de ADN, que codifica una proteína o una molécula de ARN estructural o una molécula de ARN catalítico**



Sin embargo, dentro de los genes hay **regiones señalizadoras**, que no se transcriben. Éstas actúan como signos de puntuación, marcando el principio y el final de un gen. Si bien estas zonas no son copiadas, son indispensables para el que el resto del gen se transcriba. Entonces podría ampliarse la definición de gen, incluyendo no solo a las regiones que codifican una proteína o un ARN, sino también a las secuencias requeridas para transcribirlo. **El gen es una “unidad de transcripción”**.

Las células regulan la expresión de sus genes; no transcriben y traducen todos sus genes al mismo tiempo. Existen en el genoma secuencias que actúan como **reguladoras**. Es decir

que el ADN no sólo contiene la información sobre todas las proteínas y ARN, sino que también, por medio de las secuencias reguladoras, informa acerca de cuándo, en qué células y en qué cantidad se deben fabricar. Para ejercer la regulación de la transcripción, las secuencias reguladoras deben unirse con proteínas reguladoras, a las que se conoce como factores de transcripción específicos.

Las **secuencias intergénicas son secuencias no codificantes**. Nunca se transcriben y aunque existen diversas hipótesis sobre su significado, se desconoce su función. Se las ha llamado “**ADN chatarra**” o “ADN basura” o “exceso de ADN”.

Muchas de ellas son **elementos transponibles** o móviles, secuencias que pueden cambiar de posición dentro del genoma. En el genoma humano representan alrededor del 50% de la secuencia total.

Debe quedar claro que el ADN no es otra cosa que un polímero de nucleótidos. Las regiones del ADN, codificantes, no codificantes, señalizadoras y reguladoras, no están separadas por ningún límite físico, solamente se diferencian entre sí por la secuencia de las bases que componen los nucleótidos. **La información genética está codificada en la secuencia de bases.**

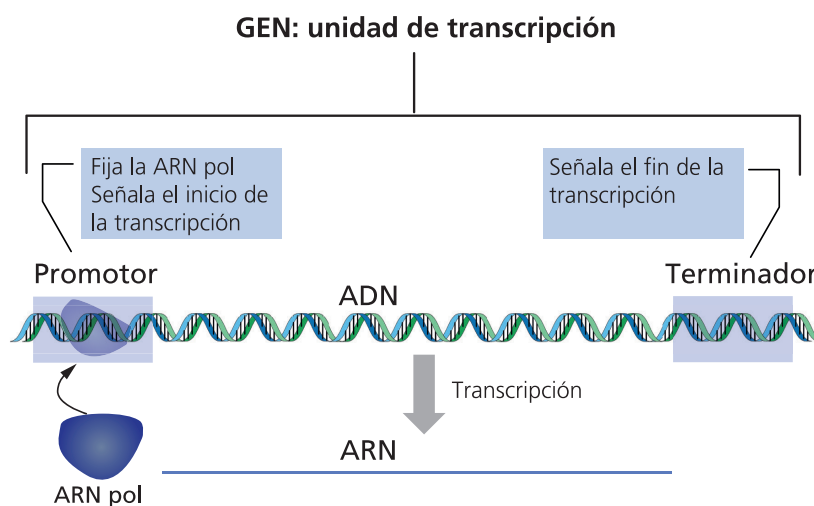
En el año 2001 se publicó el primer esbozo completo de la secuenciación llevada a cabo por el Proyecto Genoma Humano. El genoma humano consta de un total  $3,2 \times 10^9$  pb y alrededor de 30.000 genes.

## Transcripción

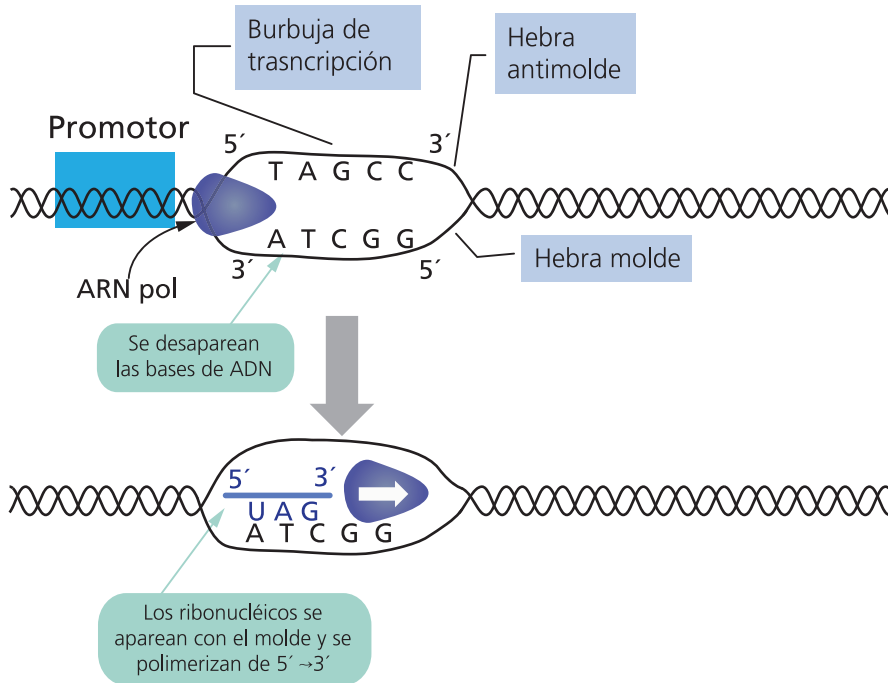
La transcripción es el proceso en el cual **la secuencia de bases de un gen se utiliza como molde para la síntesis de una molécula de ARN.**

Cada gen presenta una **región promotora o promotor** (una secuencia de bases específica) que señala el sitio donde comienza el gen y el nucleótido de la secuencia donde debe iniciarse la transcripción. A su vez, otras **secuencias terminadoras** del gen marcan el punto final de la transcripción.

La transcripción de un gen requiere la actuación de una enzima **ARN polimerasa** (ARN pol). Ésta reconoce la secuencia del promotor y se une a él. En eucariotas, la unión de las ARN polimerasas al promotor está mediada por un grupo de proteínas llamadas **factores basales de transcripción**.

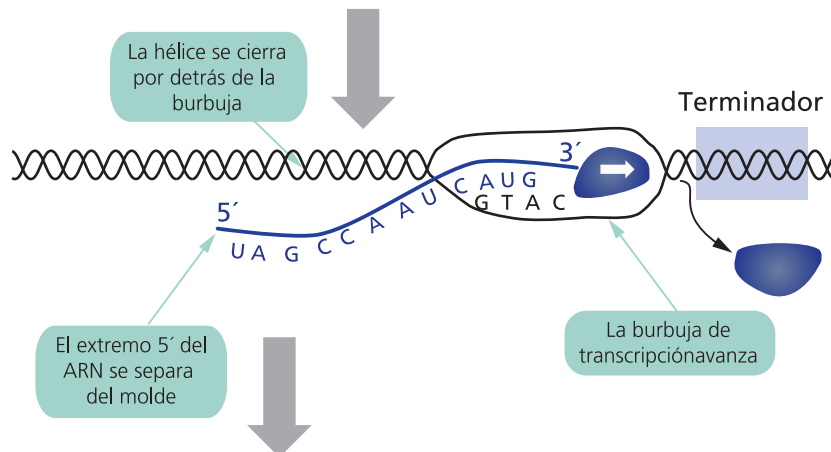


A partir de su unión con el promotor, la ARN polimerasa avanza sobre el gen, separando transitoriamente las dos cadenas complementarias de ADN que lo forman. Las cadenas o hebras de ADN desapareadas forman una **“burbuja de transcripción”**. Una de las dos cadenas, la que la ARN polimerasa recorre de 3’ a 5’, es utilizada como **molde** o plantilla para ser copiada. La cadena complementaria, que queda orientada de 5’ a 3’, es el **antimolde** de ese gen.

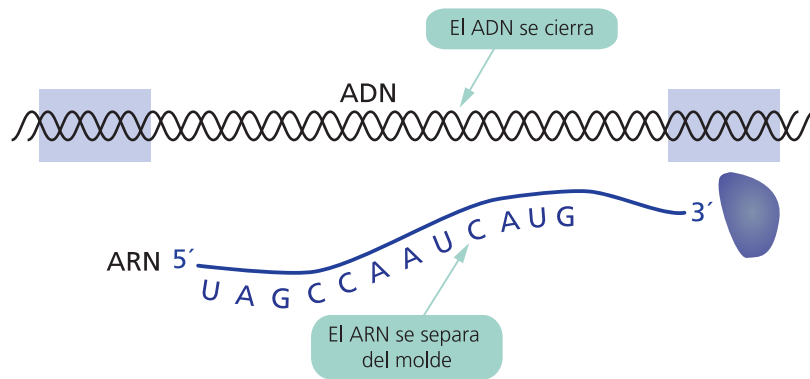


A medida que la ARN pol avanza, reconoce las bases que forman la cadena molde. Sobre cada nucleótido del molde la ARN pol ubica un ribonucleótido con la base complementaria. (Los ribonucleótidos se aparean con los desoxirribonucleótidos según las mismas reglas de complementariedad que rigen para el ADN, con la sola excepción de que la timina es reemplazada por uracilo.) Conforme los ribonucleótidos se aparean con el molde de ADN, la ARN pol cataliza la formación de los puentes fosfodiéster que los enlazan entre sí. De esta forma va creciendo una cadena de ARN complementaria y antiparalela al molde. **El ARN crece en la dirección 5’->3’ sobre un molde “leído” en la dirección 3’->5’.**

Al mismo tiempo que el transcripto de ARN crece, la burbuja de transcripción se desplaza junto con la polimerasa. La parte del molde ya transcrita vuelve a aparearse con el antimolde y el extremo 5’ del transcripto se separa del molde.



El proceso concluye cuando la ARN pol llega a la secuencia terminadora. Entonces el extremo 3' del ARN sintetizado se desaparece de su molde y se libera, mientras la burbuja de transcripción se cierra. Como el ARN se sintetiza por complementariedad con respecto al molde y antiparalelo al mismo, su dirección y secuencia de bases coinciden con las del antimolde (excepto porque donde éste tiene timina, aquél tiene uracilo). Por esta razón, el antimolde es también llamado **hebra positiva o codificante**; el molde es la **hebra negativa o no codificante**.



En los eucariotas la transcripción se lleva a cabo en el núcleo celular. Allí se localizan las ARN polimerasas, los factores basales de transcripción, los ribonucleótidos trifosfato que actúan como precursores o materia prima para fabricar el ARN, y otras enzimas que forman parte de la “maquinaria transcripcional”.

En los eucariotas existen **tres clases de ARN polimerasas**, con sus respectivos factores basales. Las ARN polimerasas reconocen específicamente a determinado tipo de promotores y se especializan, por lo tanto, en la transcripción de genes de diferentes ARN.

## Código genético

En la secuencia de bases de los ARNm está codificada la información para la síntesis de proteínas. Un gen de una proteína X tiene una determinada secuencia de bases, ésta se transcribe al ARNm y en ella debe radicar la información acerca de cuáles aminoácidos, cuántos y en qué orden deben ser unidos para sintetizar la proteína X.

### ¿Cómo es que una secuencia de nucleótidos puede informar acerca de una secuencia de aminoácidos?

El **código o idioma de los genes** está constituido por **tripletes de nucleótidos**. Las cuatro bases (adenina, guanina, citosina y timina o uracilo) pueden formar **64 tripletes diferentes**, según el orden en que se combinen. Cada triplete funciona como una palabra del código genético. Los tripletes, una vez transcritos al ARNm, reciben el nombre de **codones** (codón: unidad del código).

De los 64 tripletes o codones existentes, 3 son interpretados como punto final del mensaje; son los **codones stop**: UGA, UAG Y UAA. Cuando el ARNm es traducido en los ribosomas, cualquiera de los codones stop indica que la proteína ya ha sido terminada.

		Segunda Letra								
		U		C		A		G		
Primera Letra	U	UUU	Fenilalanina	UCU	Serina	UAU	Tirosina	UGU	Cisteína	U C A G
		UUC		UCC		UAC		UGC		
		UUA	Leucina	UCA		UAA	Código de parada (stop codon)	UGA	Código de parada(**)	
		UUG		UCG		UAG		UGG		
	C	CUU	Leucina	CCU	Prolina	CAU	Histidina	CGU	Arginina	U C A G
		CUC		CCC		CAC		CGC		
		CUA		CCA		CAA	Glutamina	CGA		
		CUG		CCG		CAG		CGG		
	A	AUU	Isoleucina	ACU	Treonina	AAU	Asparagina	AGU	Serina	U C A G
		AUC		ACC		AAC		AGC		
		AUA	Metionina (Iniciación)	ACA		AAA	Lisina	AGA	Arginina	
		AUG		ACG		AAG		AGG		
	G	GUU	Valina	GCU	Alanina	GAU	Acido Aspartico	GGU	Glicina	U C A G
		GUC		GCC		GAC		GGC		
		GUA		GCA		GAA	Acido Glutámico	GGA		
		GUG		GCG		GAG		GGG		

### Código genético

Los 61 codones restantes codifican aminoácidos. **Cada codón nombra a uno y solo un aminoácido particular.** Esto evita errores en el momento de la traducción. Si un codón nombrara a dos aminoácidos diferentes, la célula no sabría cuál de ellos escoger cada vez que se encontrara ese codón. O sea que el mensaje sería ambiguo, pues daría lugar a dos interpretaciones distintas. Pero el código genético tiene, para cada codón, una interpretación única: **no es ambiguo.**

Ahora bien, existen 61 codones para codificar aminoácidos y los aminoácidos son solo 20. ¿Cuál es la función de los codones restantes? Los codones restantes funcionan como **sinónimos**. Es decir que cada aminoácido está codificado por más de un codón, con la excepción de metionina y triptófano que están nombrados por un único codón cada uno.

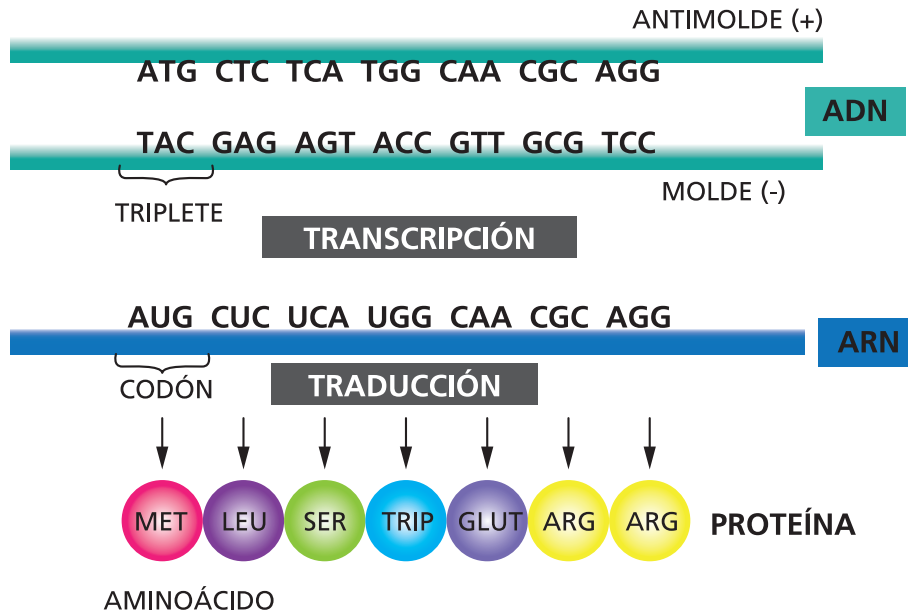
La existencia de diferentes codones sinónimos que codifican a un mismo aminoácido es una característica del código que se conoce como **degeneración o redundancia.**

Durante la traducción, el mensaje que porta el ARN **se lee de corrido.** El primer codón AUG (codifica al aminoácido metionina) que aparece en el ARNm, es tomado como el primer codón del mensaje o codón de iniciación. De allí en más, el mensaje es traducido secuencialmente (cada tres nucleótidos: un codón), sin que existan nucleótidos sin traducir y sin alterar el orden.

La característica más significativa del código genético es su **universalidad.** El código genético es universal: es el mismo para todos los seres vivos. Esto significa que un gen humano puede ser introducido en una bacteria y que la bacteria puede traducirlo, fabricando la misma proteína que fabricaría la célula humana.

La universalidad del código es lo que ha permitido la creación de organismos “**transgénicos**”. Un organismo transgénico es aquél en el cual se introducen genes provenientes de otra especie, con el fin de que fabrique determinadas proteínas. Los transgénicos se utilizan en la investigación, en la industria farmacéutica y también en la producción animal y vegetal, para dotar a plantas y animales de características que mejoran su calidad o rendimiento.

Pero más allá de las aplicaciones prácticas que ha posibilitado, la universalidad del código genético es una prueba más y muy contundente de que los seres vivos evolucionamos a partir de un único ancestro. Es muy poco probable que el mismo código hubiera surgido repetidas veces en forma independiente. La explicación de que todos compartamos un código universal no puede ser otra que la del origen común de todos los seres vivos.



### ARN mensajero (ARNm)

El ARNm es la molécula que lleva la información para la síntesis de una proteína. Durante muchos años se sostuvo que el gen, el ARNm y la proteína son “colineales”, pues la secuencia de nucleótidos del mensaje se correspondería con la secuencia de aminoácidos de la proteína. Esto resultó ser una verdad a medias. En la década de 1970 se encontró que los ARN recién transcritos de los eucariotas, también llamados pre-ARNm o transcritos primarios, suelen ser mucho más largos mientras permanecen en el núcleo, que sus versiones maduras, ya exportadas al citoplasma.

Esto se debe a que en el gen existen secuencias que se transcriben, pero que luego se eliminan del ARN. En efecto, en los genes que codifican proteínas en los eucariotas, se presentan dos tipos de secuencias que se alternan: los exones y los intrones. Tanto exones como intrones son transcritos. Sin embargo, una vez formado el transcritto primario, los intrones son escindidos y se eliminan del ARNm, mientras que los exones se empalman unos con otros. Este proceso recibe el nombre de corte (de intrones) y empalme (de exones) o “splicing”.

En el núcleo de las células eucariotas existen partículas ribonucleoproteicas, los espliceosomas, formados por ARN pequeño nuclear (ARNsn = “small nuclear”) y proteínas, cuyas moléculas de ARN catalizan el corte de intrones y el empalme de exones.

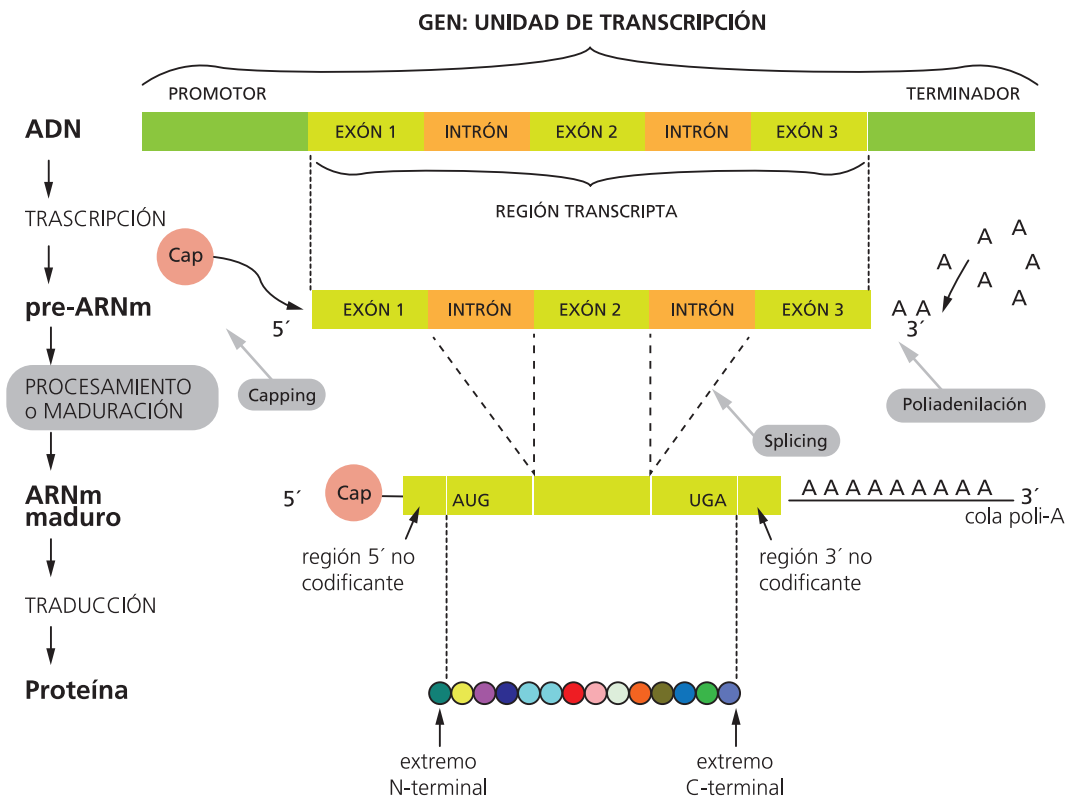
La palabra exón significa “que se expresa”, pues los exones son las partes traducidas; los intrones son las regiones “intercaladas”. El mensaje para la síntesis de la proteína queda constituido una vez que los exones se empalman. No obstante, la secuencia de codones queda flanqueada, tanto en el extremo 5’ como en el 3’, por regiones no codificantes. Se trata de secuencias necesarias para la traducción, pero que no se traducen en aminoácidos.

Además del corte y empalme, los pre-ARNm eucariotas sufren otras dos modificaciones antes de convertirse en ARNm maduros aptos para ser traducidos. La primera de ellas es el “capping”. Consiste en el agregado de un “capuchón” que no es otra cosa que un nucleótido modificado, en el extremo 5’ del transcripto. El capuchón o “cap” se añade al transcripto cuando éste consta de unos pocos nucleótidos de longitud, mientras aún se está transcribiendo. La cap protege al ARN de enzimas que pueden degradarlo y es necesario para el splicing y la posterior traducción.

Por último, en el extremo 3’ del transcripto, se realiza la poliadenilación. Es el agregado de una serie de nucleótidos de adenina que forman la cola poli-A. Aunque existen excepciones, en general la cola poli-A parece ser indispensable para que el ARNm pueda salir por los poros de la envoltura nuclear.

De todo lo dicho se desprende que el gen es realidad más largo que el transcripto, y éste más largo que el ARNm. Además, en el ARNm maduro aparecen nucleótidos que no son copias del gen (la cap y la cola poli-A) y regiones que no serán traducidas.

Los ARNm, una vez maduros o procesados, se dirigen al citosol, donde son traducidos (aunque descubrimientos recientes sugieren que también podría haber traducción en el núcleo). Después de la traducción, en general son rápidamente degradados. Esta **rápida degradación** es una forma de regular la cantidad de proteína sintetizada.



### ARN de transferencia (ARNt)

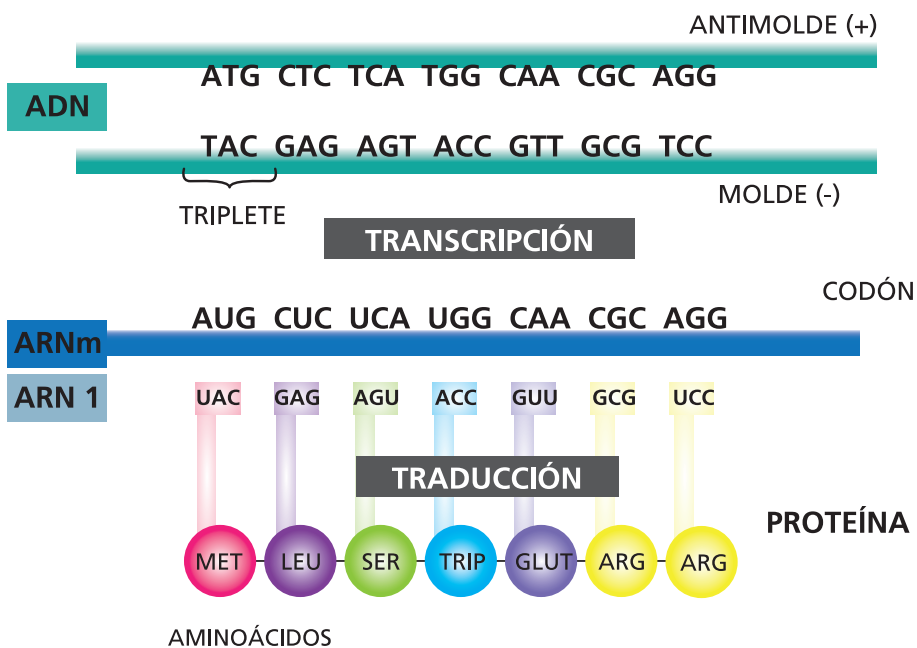
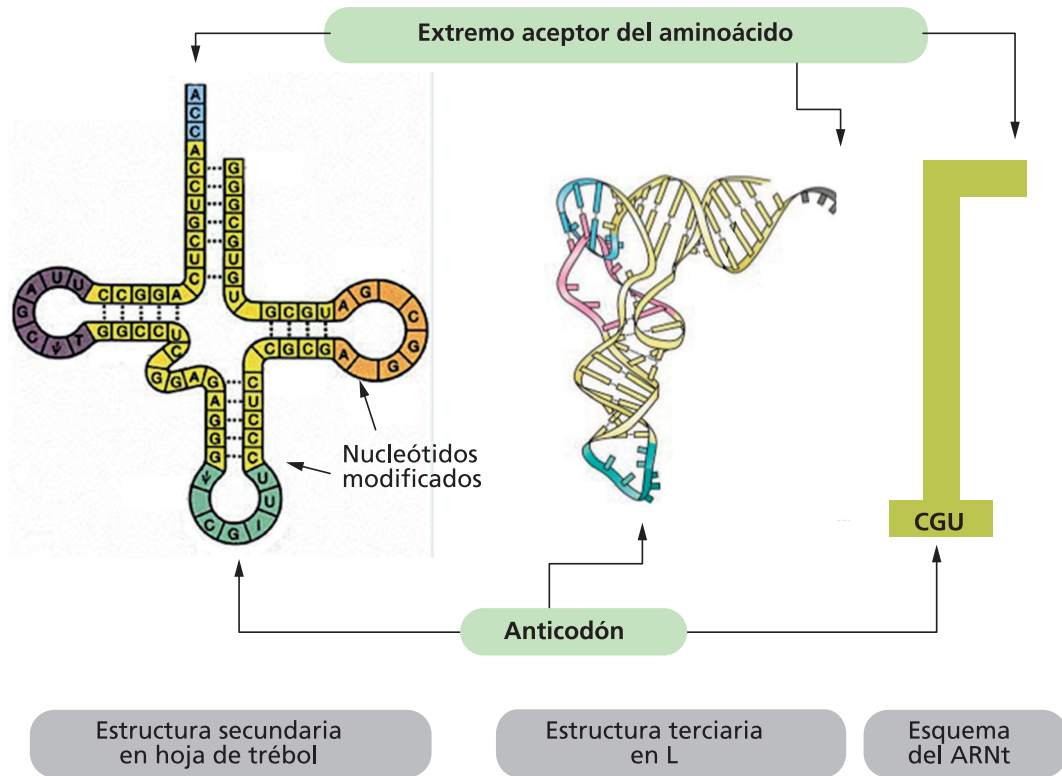
Los ARNt son moléculas que se encargan de **transportar los aminoácidos**, es decir, la materia prima para la síntesis de una proteína, hasta el ribosoma.

Cada ARNt es una molécula lineal de unos 75 - 85 nucleótidos de longitud, que se pliega adoptando una estructura secundaria en forma de hoja de trébol. Un nuevo plegamiento, sobre la estructura secundaria, da lugar a una estructura terciaria en forma de “L”.



En los ARNt ya plegados se distinguen dos extremos: el **extremo aceptor del aminoácido** y el **anticodón**. El extremo aceptor se une a un aminoácido determinado. El anticodón consiste en una secuencia de tres bases de la cadena del ARNt, la que se unirá a un codón que tenga una secuencia complementaria.

Los ARNt **son específicos** para una clase de aminoácido; por otro lado, su anticodón reconoce sólo al codón que lo complementa. Como resultado, a cada codón le corresponde un aminoácido específico. Puede decirse que los ARNt son los verdaderos “traductores”, ya que al mismo tiempo son capaces de leer el idioma de los nucleótidos en el ARNm y de reconocer a los aminoácidos, haciendo de enlace entre ambos lenguajes.



La unión de cada ARNt con el aminoácido “correcto” depende de la actividad de unas enzimas llamadas **aminoacil-ARNt sintetetasas**. Cada una de ellas cataliza la formación del complejo entre el aminoácido y el ARNt específico (complejo aminoacil-ARNt). Las aminoacil-ARNt sintetetasas reconocen algunas bases que diferencian a un ARNt de otro.

La reacción en la cual se produce la unión se denomina **activación** y consume energía.

La energía queda parcialmente retenida en el enlace de alta energía que se forma entre el ARNt y el aminoácido y será utilizada para la formación del enlace peptídico durante la traducción. La activación tiene lugar en el citosol, antes de la traducción propiamente dicha.

Dado que todas las proteínas se construyen a partir de los mismos veinte aminoácidos, cada ARNt puede utilizarse para traducir cualquier mensaje. Así es que, a diferencia de lo que ocurre con los ARNm, los ARNt son moléculas más estables, que tienen una vida media larga y **se reutilizan** una y otra vez.

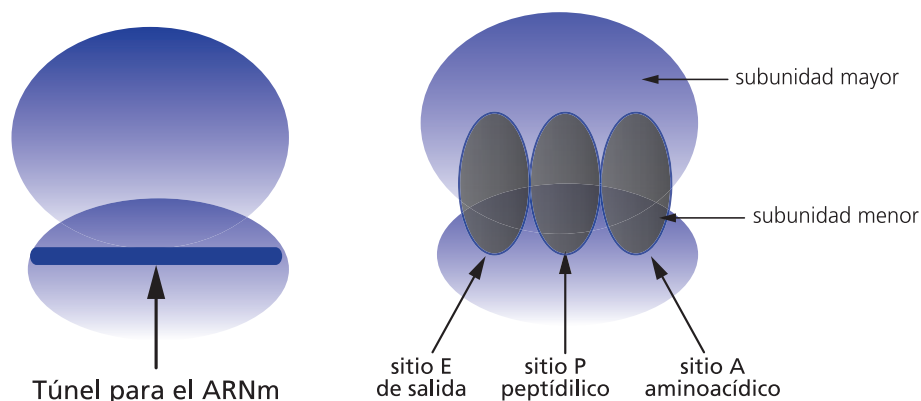
## ARNr y ribosomas

El ARN ribosomal es el ARN más abundante en las células. En eucariotas existen **cuatro tipos de ARN ribosomales (ARNr)**. De ellos, tres se transcriben en el nucléolo como un solo ARN precursor, que luego es escindido. Al cortarse el transcrito precursor, se obtienen los tres ARNr, de menor tamaño. El cuarto ARNr se transcribe fuera del nucléolo.

Los distintos tipos de ARN ribosomal **se asocian con proteínas para formar las subunidades ribosomales**. La construcción de las subunidades también se produce dentro del nucléolo.

La función de los ribosomas es la síntesis de proteínas. Los ribosomas se ensamblan en el citoplasma, cuando inician la traducción de un ARNm. En un ribosoma funcional quedan delimitados dos canales: uno en la subunidad menor, donde se ubica el ARNm, y otro en la subunidad mayor, por donde emerge la proteína en síntesis.

Internamente, la estructura del ribosoma posee tres cavidades, denominadas **sitios A, P y E**, que abarcan tanto la subunidad menor como la mayor.



El sitio A o aminoacídico aloja a los ARNt, que ingresan al ribosoma cargados con sus respectivos aminoácidos para ser incorporados a la proteína.

El sitio P o peptídico es el sitio donde crece la cadena peptídica que se está sintetizando.

En el sitio E (por “exit”) se ubican los ARNt prontos a abandonar el ribosoma, después de que el aminoácido que portaban se haya unido a la proteína en fabricación.

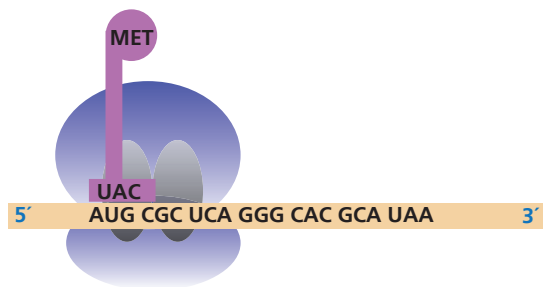
## Traducción

La traducción se inicia al unirse el ARNm con el ARNt iniciador, que transporta metionina (met), y las subunidades ribosomales. El ribosoma se ensambla en el extremo 5' del ARNm y se ubica de modo tal que el primer codón AUG desde el extremo 5', codón de iniciación, quede situado en el sitio P. Sobre el codón de iniciación se coloca el ARNt iniciador cargado con metionina.

### Etapas de iniciación

Se asocian:

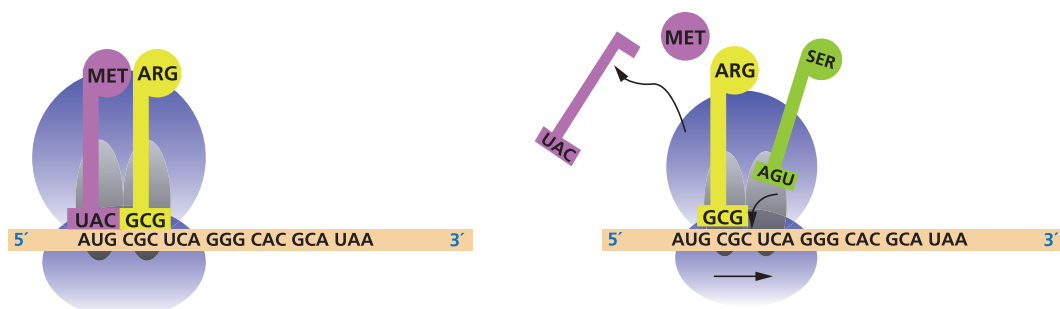
- subunidad menor
- ARNt iniciador
- ARNm
- subunidad mayor



Una vez completada esta primera etapa, llamada **etapa de iniciación**, comienza la **elongación de la cadena peptídica**. Entonces un segundo ARNt, cuyo anticodón complementa al codón adyacente a AUG, en sentido 3', ingresa al sitio A, cargando el segundo aminoácido. A continuación, el primer aminoácido se separa de su ARNt y forma enlace peptídico con el segundo aminoácido, aún unido a su propio ARNt. Ahora, el segundo ARNt, ubicado en el sitio A, lleva un dipéptido. El ribosoma se desplaza sobre el ARNm en sentido 5'→3' (translocación). El ARNt con el péptido pasa del sitio A al sitio P, dejando vacante al primero. Al mismo tiempo, el ARNt iniciador ingresa al sitio E antes de salir del ribosoma.

### Etapas de elongación

- Ingresa al sitio A el ARNt complementario del segundo codón.
- Los sitios P y A están ocupados por sendos ARNt con sus respectivos aminoácidos.
- La peptidil transferasa cataliza la formación del enlace peptídico entre los dos aminoácidos
- Se transfiere el primer aminoácido al segundo y se libera el primer ARNt
- El ribosoma se transloca, dejando vacante el sitio A.
- Un nuevo ARNt cargado con su aminoácido ingresa al sitio A.
- El péptido permanece unido al ARNt ubicado en el sitio P.
- El péptido será transferido al aminoácido en el sitio A.

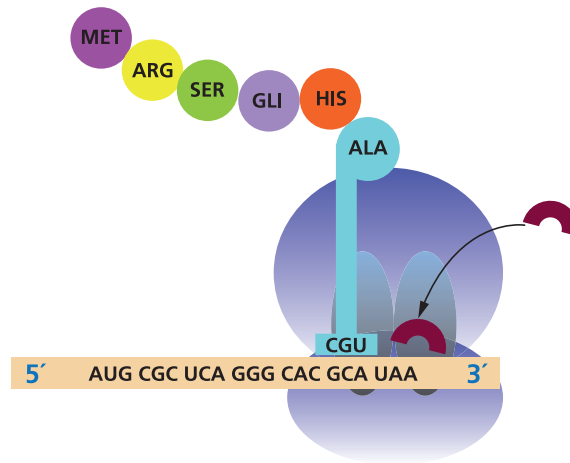


Durante la elongación se repite este ciclo de eventos, y a medida que el ribosoma se transloca sobre el ARNm hacia el extremo 3', la cadena peptídica va creciendo en el sitio P y empezará a asomar por el túnel de la subunidad mayor. El primer aminoácido ingresado a la proteína lleva el extremo N-terminal; por lo tanto, éste será el primero en aparecer. El último portará el extremo C-terminal.

### Terminación de la traducción I

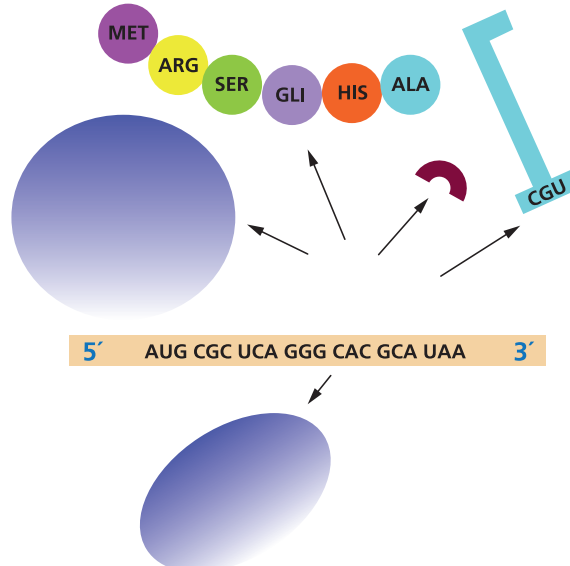
- El codón stop queda ubicado en el sitio A.
- Un factor de liberación se une al codón stop.

El **fin de la traducción** se produce cuando un **codón stop** o de paro llega al sitio A. Los codones de terminación no tienen ARNt complementarios; a ellos se unen proteínas denominadas **factores de liberación**. El factor de liberación provoca la separación de todos los elementos que participaron en la traducción: se separan las subunidades ribosomales del ARNm y el último ARNt rompe su unión con la proteína sintetizada.



### Terminación de la traducción II

- Todos los elementos que participan en la traducción se separan.
- Se obtiene la proteína.



Es importante destacar que el ARN ribosomal cumple un papel catalítico durante la traducción. En efecto, la formación del enlace peptídico se debe a la actividad del ARNr de la subunidad mayor, que se comporta como enzima “**peptidil-transferasa**”. Las proteínas del ribosoma, en cambio, parecen tener un papel estructural.

Además de los **factores de liberación**, que actúan en la etapa de finalización, para la síntesis proteica se requiere la presencia de otras proteínas que participan en las etapas precedentes: **los factores de iniciación y de elongación**. Por último, se debe recalcar que la síntesis proteica es un proceso que **consume energía**; fabricar proteínas es, para la célula, un proceso energéticamente más costoso que la síntesis de cualquier otro tipo de molécula.

## Regulación genética: transcriptoma y proteoma

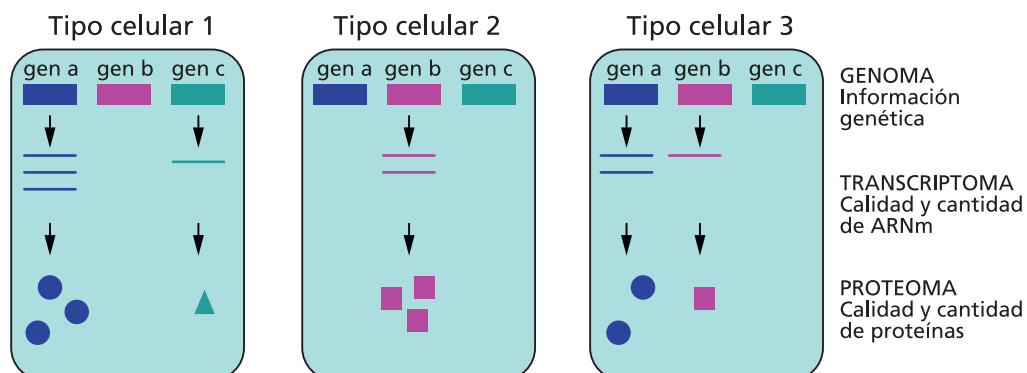
**Todas las células somáticas o corporales de un mismo organismo contienen la misma información genética.** Sin embargo, una neurona se distingue perfectamente de una célula muscular o de un glóbulo blanco. Estas diferencias morfológicas y funcionales se deben a que en los distintos tipos celulares y aun en la misma célula en distintas etapas de su vida, cambia la forma en que se expresa el genoma.

Las células poseen **mecanismos para regular la expresión del genoma** en cada uno de los pasos involucrados. Así, controlan:

- qué genes se transcriben en cada momento,
- a qué velocidad se transcriben
- qué transcritos son procesados para que puedan llegar a traducirse,
- de qué forma son procesados dichos transcritos,
- cuáles de los ARNm atraviesan los poros nucleares para llegar al citosol,
- qué vida media tendrá cada ARNm ya en el citoplasma,
- cuál ARNm será traducido, y a qué ritmo,
- cuál será la vida media de la proteína obtenida, y
- en algunos casos, si la proteína estará activa o no.

De todos los pasos de control mencionados, posiblemente el de mayor importancia sea el que se ejerce a nivel de la transcripción.

En síntesis: las diferencias entre células de un mismo organismo no se deben a diferencias en el genoma, sino que deben atribuirse a diferencias en su **transcriptoma** y su **proteoma**. El transcriptoma es el conjunto de todos los ARN que posee una célula en un momento dado. El proteoma es el conjunto de las proteínas presentes en determinado momento de la vida celular.

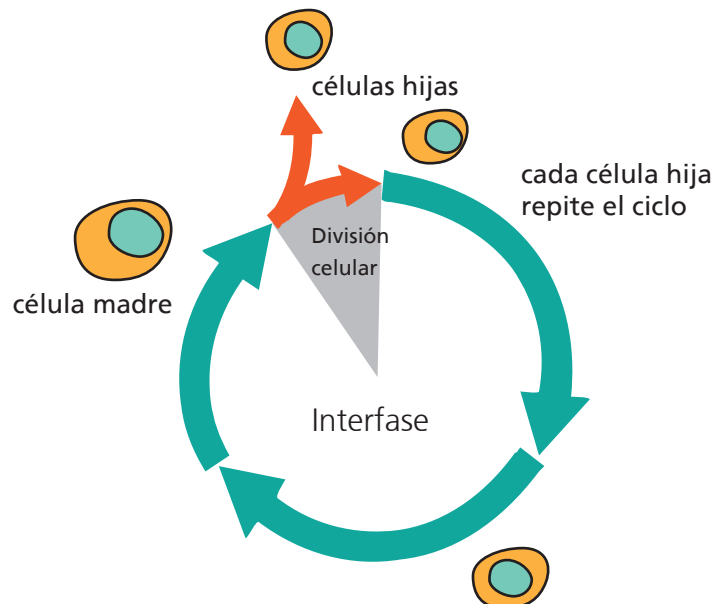


Las diferencias entre los distintos tipos celulares de un organismo son debidas fundamentalmente a una **transcripción diferencial de sus genes**, es decir a la presencia de un transcriptoma y, en consecuencia, de un proteoma diferentes

## ADN Y CICLO CELULAR

### Ciclo celular

Las células surgen por **división celular a partir de otra célula preexistente**. La célula madre duplica su material genético y luego lo distribuye, de manera que cada futura célula hija reciba una copia completa del mismo. Finalmente se divide el citoplasma de la célula madre, con sus correspondientes orgánulos, dando lugar a la formación de dos células hijas.



Las células hijas heredan una copia íntegra de la información genética presente en la célula original. Esto las hace potencialmente idénticas; de hecho lo son desde el punto de vista genético. Sin embargo, cada célula hija recibe aproximadamente la mitad de la masa citoplasmática original; deberá pasar entonces por un período de crecimiento hasta estar en condiciones de entrar, a su vez, en la etapa de división.

El ciclo de vida de una célula eucariota, o ciclo celular, comprende una etapa de interfase y una etapa de división celular o etapa "M".

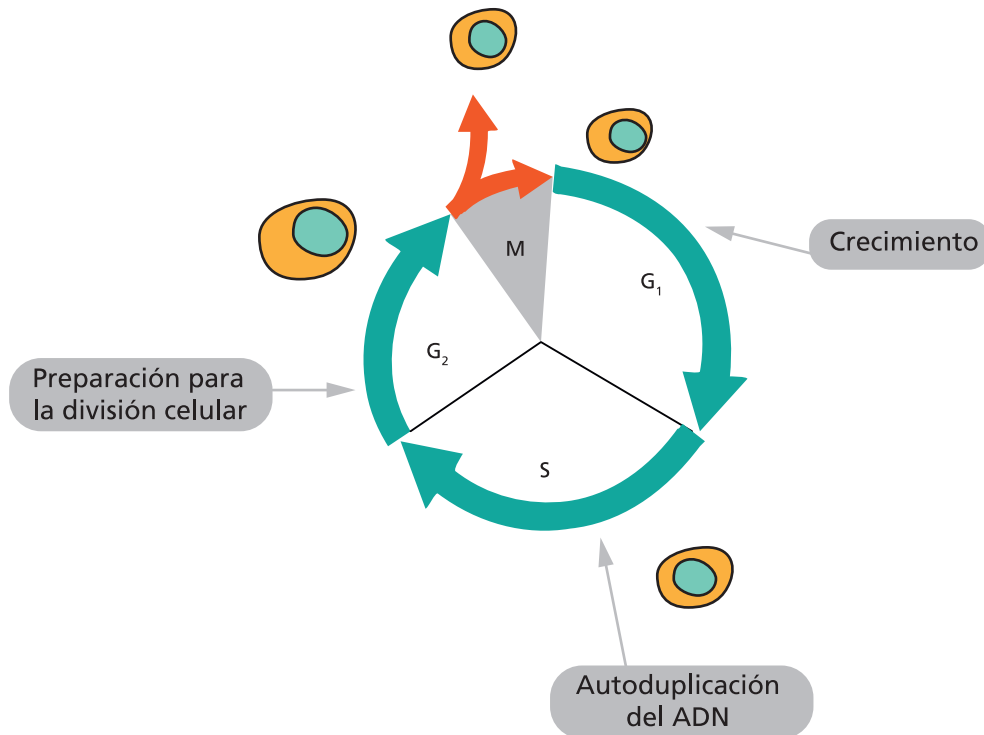
### La interfase se subdivide en tres etapas:

**-G1 (G proviene de "gap": intervalo):** ésta es la etapa de crecimiento celular. Las células sintetizan nuevos componentes, hasta alcanzar el tamaño de la célula madre. Además del crecimiento y las funciones inherentes a su automantenimiento, en los organismos pluricelulares cada célula lleva a cabo una función específica. La etapa G1 de la interfase es de una intensa actividad celular.

-**S (de “síntesis”)**: durante esta fase la célula duplica el material genético. Cada molécula de ADN del núcleo celular se utiliza como molde para generar dos moléculas de ADN idénticas. Este proceso se denomina replicación o autoduplicación del ADN. Las dos copias idénticas permanecen unidas hasta la división celular.

-**G<sub>2</sub>**: es una etapa de preparación para la división celular inminente.

La **fase M** o de división celular comprende la **mitosis**, o división del material genético y la **citocinesis** o división del citoplasma.



Interfase		G <sub>1</sub>
		S
		G <sub>2</sub>
Fase M	Mitosis	Profase
		Prometáfase
		Metafase
		Anafase
		Telofase
		Citocinesis

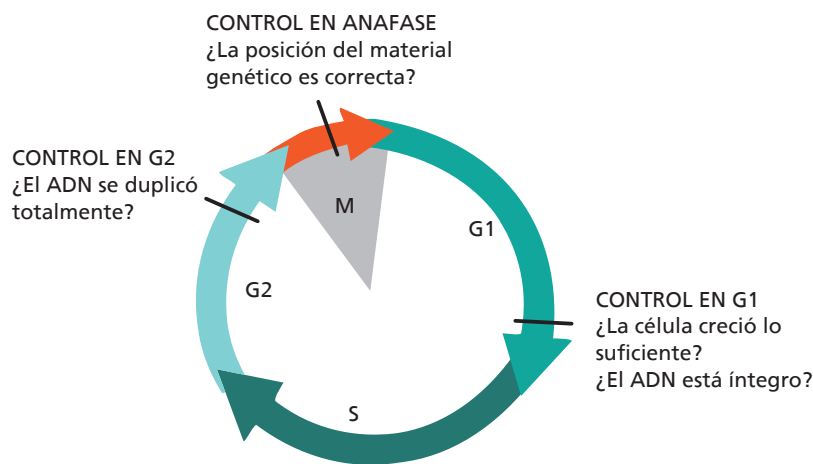
### Control del ciclo celular

El ciclo celular se desarrolla según un programa que sólo permite el avance hacia otra etapa cuando la etapa en curso se ha cumplido adecuadamente. Este programa consta de algunos puntos de control cruciales. Uno de ellos es el punto R o punto de restricción, al final de la etapa G<sub>1</sub>. En este punto se chequean fundamentalmente dos variables: que el material genético no haya sufrido daño y que las condiciones del medio circundante favorezcan la

división celular. Solamente si ambas variables lo permiten, entonces se produce el avance hacia la fase S.

El segundo punto de control está situado después de la fase S. En este momento, es de vital importancia chequear si la replicación del ADN se realizó en forma completa. En ese caso, la célula atraviesa el período G2 y avanza hacia la fase M.

Al promediar la fase M (en anafase) existe otro punto de control, cuya finalidad es controlar si las moléculas de ADN están ubicadas en la posición correcta, para proceder a su distribución equitativa entre las células hijas. Así se garantiza que las células hijas no reciban información de más o de menos.



El control del ciclo celular está supeditado a la influencia de diferentes tipos de **señales**. En un organismo unicelular, como una ameba, la división celular es el mecanismo para perpetuar la especie. Entonces, el control estará influido fundamentalmente por **señales que provienen del ambiente** en el cual se desarrolla.

Si el ambiente provee los recursos necesarios, el programa seguirá su curso: la ameba crecerá adecuadamente y eventualmente se dividirá, dando origen a dos amebas hijas. Si en cambio, el ambiente es adverso, el avance del ciclo celular se detendrá en respuesta a las señales externas.

En los organismos multicelulares la situación es otra. Cada célula debe servir a las necesidades del organismo total. Su ciclo, entonces, estará controlado por **señales que provienen de otras células**. Dichas señales permitirán que el programa del ciclo avance, o bien provocarán una interrupción del mismo, de acuerdo a las circunstancias. De esa forma, el ciclo celular de cada célula individual se ajusta a los requerimientos del organismo como un todo.

Ya en el medio intracelular, el avance del ciclo está mediado por complejos formados por dos tipos de proteínas: **las ciclinas y las quinasas dependientes de ciclinas (cdk)**. Las ciclinas presentan concentraciones variables a lo largo del ciclo. Las quinasas, activadas por la presencia de las ciclinas, catalizan la fosforilación de diversas proteínas “blanco”.

La fosforilación es un mecanismo que permite “encender” o “apagar” a las proteínas. Las proteínas blanco fosforiladas modifican su actividad, provocando los cambios celulares cíclicos.

El **cáncer** en sus múltiples formas se origina siempre a partir de una célula que falla en el control de su ciclo celular. La falla obedece a alteraciones o mutaciones en las secuencias



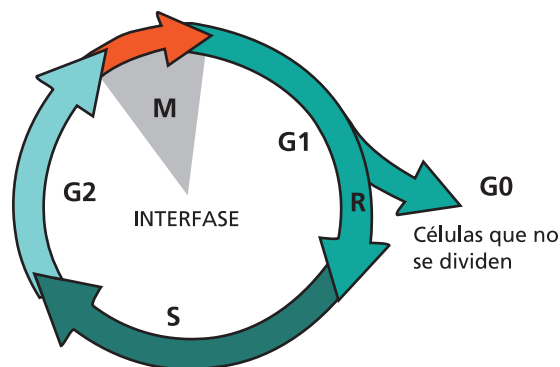
de los genes que codifican las proteínas involucradas en los mecanismos de control. Las proteínas defectuosas, producto de los genes mutados, o bien no responden a las señales exteriores, o bien producen una respuesta exacerbada a las mismas. En algunos casos, dichas proteínas se activan aun en ausencia de las señales pertinentes. El resultado es que la célula cancerosa o maligna se divide en forma indiscriminada, originando una masa anormal de células, o tumor. Este comportamiento anárquico de las células cancerosas es la causa del conjunto de enfermedades que se agrupan bajo el nombre de cáncer.

### Duración del ciclo celular

El ciclo celular tiene una duración muy variable, cuando se comparan diferentes tipos celulares. Sobre la base de este criterio, pueden reconocerse tres grandes categorías de células:

- 1. Células con una gran especialización estructural.** Por ejemplo: neuronas o células musculares. Estos tipos celulares no se dividen; permanecen en una fase G1 que dura hasta su muerte. Como la célula no avanza hacia S, a este tipo de G1 también se la denomina **G0**.
- 2. Células que normalmente no se dividen, pero pueden hacerlo ante un estímulo apropiado.** Es el caso de los hepatocitos (células hepáticas), que pasan el punto R cuando se extirpa una parte del órgano.
- 3. Células con gran actividad mitótica.** Sus ciclos celulares se suceden con mucha celeridad. Por ejemplo, las células embrionarias o células que pertenecen a tejidos de renovación continua, como la epidermis.

La duración del ciclo celular depende fundamentalmente de la duración de la fase G1, ya que una célula no pasa el punto R si no recibe estímulos para dividirse. El resto de las fases del ciclo celular, S, G2 y fase M, duran unas pocas horas, y su duración es similar en todas las células de una especie.



### Estructura de la cromatina en las distintas etapas del ciclo celular

El núcleo contiene los cromosomas de la célula. Cada cromosoma consiste en una molécula única de ADN con una cantidad equivalente de proteínas. Colectivamente, el ADN con sus proteínas asociadas se denomina cromatina. La mayor parte de las proteínas de la cromatina consisten en copias múltiples de cinco clases de histonas.

Estas proteínas básicas son ricas en residuos de arginina y lisina cargados positivamente. Por esta razón se unen estrechamente con los grupos fosfatos (cargados negativamente) del ADN.

La observación de un núcleo interfásico a través del microscopio óptico nos permite distinguir dos tipos de cromatina. La eucromatina o cromatina laxa, de localización central, y la heterocromatina o cromatina densa, en la periferia del núcleo. La heterocromatina representa aproximadamente el 10% del total de cromatina y es considerada transcripcionalmente inactiva.



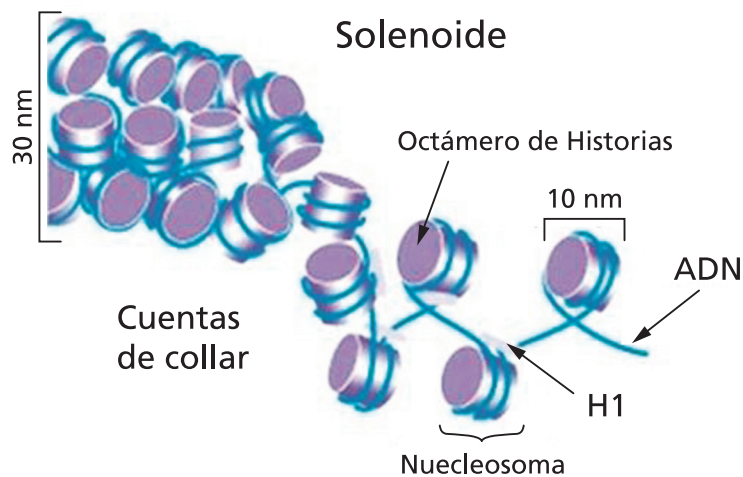
Micrografía electrónica del núcleo de un linfocito.  
a) eucromatina, b) heterocromatina, c) mitocondria

Cuando el cromosoma en interfase se esparce artificialmente sobre agua, tiene la apariencia de un collar de perlas. Las perlas son los **nucleosomas**, las unidades de enrollamiento de la cromatina.

Los nucleosomas poseen un centro o “core” de histonas. Dicho centro posee dos copias de cada una de las siguientes histonas: H2A; H2B; H3 y H4.

Alrededor del centro de histonas, 146 pares de bases del ADN se enrollan en dos vueltas. La unión de las histonas al ADN no depende de una secuencia particular de nucleótidos, sino de la secuencia de aminoácidos de la histona. Las histonas son unas de las moléculas más conservadas durante el transcurso de la evolución. Alrededor de 60 pares de bases de ADN unen un nucleosoma con el próximo. Cada región de unión es el **ADN espaciador**. La quinta histona, la H1, se ubica por fuera del nucleosoma.

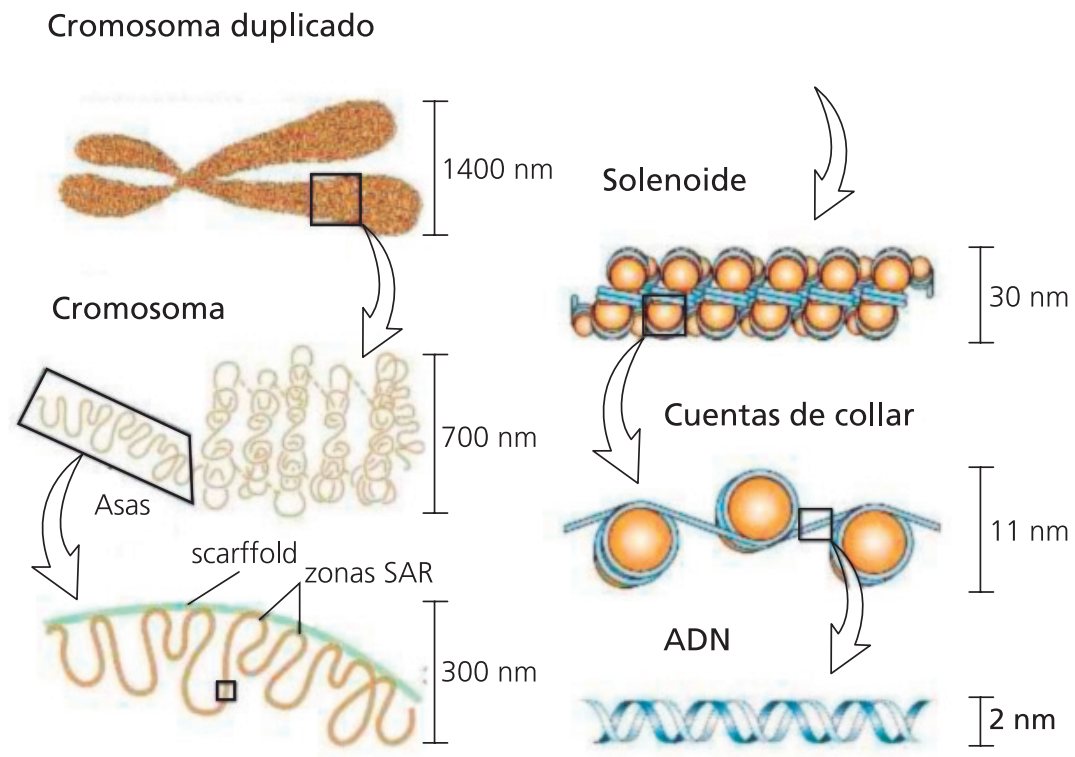
Esta estructura se conoce como **fibra de 10 nanómetros**, siendo el primer grado del empaquetamiento de la cromatina.



Los nucleosomas se organizan, a su vez, en **fibras de 30 nm (solenoides)**, girando a manera de resorte alrededor de un eje virtual. Esta estructura es mantenida por la interacción de las H1 de nucleosomas cercanos.

En el siguiente nivel de empaquetamiento, las **fibras de 30 nm** se organizan en una serie de **bucles o asas** superenrolladas. Estos bucles se estabilizan gracias a la interacción con las proteínas de la **matriz nuclear o andamiaje nuclear ("scaffold")**. Cada bucle de cromatina representa un dominio funcional o unidad de replicación. Estos dominios tienen una extensión de ADN suficiente para acomodar varios genes de tamaño promedio. Algunos genes, sin embargo, pueden abarcar varios dominios adyacentes de un cromosoma. Cada cromosoma puede tener cien o más dominios.

El grado de condensación de los dominios de cromatina se mantiene principalmente debido a la asociación con la matriz nuclear y a proteínas asociadas. La unión entre la cromatina y la matriz se da a nivel de zonas altamente conservadas, denominadas secuencias **SAR o MAR** (scaffold associated regions/ matrix attachment regions). Las SAR son abundantes en la heterocromatina.



Al comienzo de la división celular, en la profase, los cromosomas aparecen en forma más condensada, alcanzando la cromatina su **mayor nivel de condensación en metafase**. El "scaffold" o matriz nuclear se convierte en el centro de la estructura del cromosoma, y como la compactación continúa, éste se pliega modo de acordeón. El empaquetamiento de la cromatina permite confinar al ADN dentro del núcleo. Midiendo extremo con extremo el total de cromosomas de una célula humana, el ADN se extiende más de 2 metros. El empaquetamiento del ADN en forma de cromatina, no solamente le permite a éste entrar dentro de los límites del núcleo, sino también lo protege del ataque de las nucleasas (enzimas que degradan ácidos nucleicos).

## Estructura del cromosoma

**Cada cromosoma eucariota consiste en una molécula de ADN.**

La molécula de ADN en el cromosoma eucariota es lineal, por lo tanto posee dos extremos (en contraste con el cromosoma bacteriano que es circular). La molécula de ADN de un cromosoma típico eucariota contiene un conjunto de **genes** y muchas secuencias de **ADN no codificante**.

El ADN no codificante incluye:

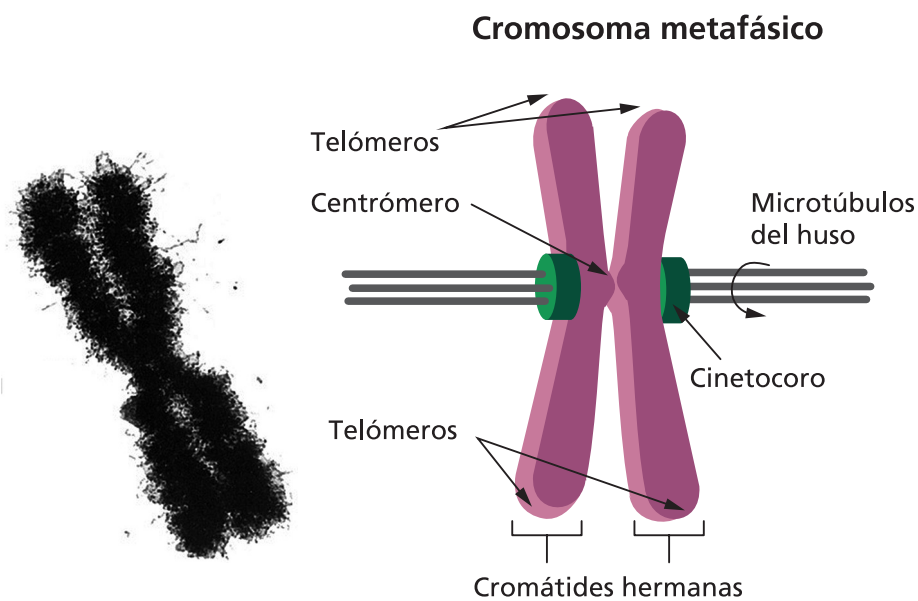
- **El centrómero:** está formado por secuencias de aproximadamente 170 nucleótidos, repetidas miles de veces.
- **Los telómeros:** secuencias repetitivas en los extremos del cromosoma.
- **Los orígenes de replicación (ORI):** son múltiples secuencias señalizadoras altamente conservadas, necesarias para que se realice la duplicación del ADN en un tiempo breve.

El **centrómero** es una constricción primaria localizada centralmente o hacia los extremos de cada cromosoma. El ADN centromérico, como ya mencionamos, es altamente repetitivo y se encuentra siempre condensado siendo parte de la heterocromatina.

Los **telómeros** son cruciales en la vida de la célula. Ellos son necesarios para la duplicación completa del cromosoma, los protegen de las nucleasas, evitan que los extremos del cromosoma se fusionen entre sí y facilitan la interacción del cromosoma con la envoltura nuclear.

Antes de que una célula se divida, cada cromosoma se duplica (durante la fase S del ciclo celular).

Durante la mayor parte de la vida de la célula, los cromosomas son demasiado largos y tenues para ser vistos bajo un microscopio. Al inicio de la división celular, los cromosomas duplicados se condensan en estructuras que pueden teñirse con facilidad (por ello denominadas cromosomas: cuerpos coloreados), pudiéndose observar bajo el MO.



Micrografía electrónica de un cromosoma metafásico

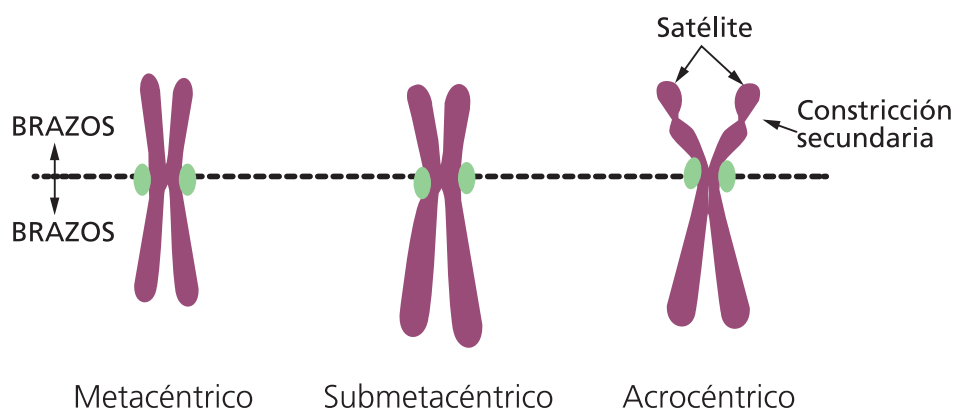
La condensación es tal que el cromosoma es aproximadamente 10.000 veces más corto que la molécula de ADN que contiene. A primera vista, los cromosomas duplicados se mantienen juntos por el centrómero. Mientras están juntos, es común llamar cromátida hermana a cada parte del cromosoma duplicado.

Esto no debe confundirnos, cada una de las “cromátidas hermanas” es un cromosoma completo. El **cinetocoro** es una estructura proteica discoidal que forma parte del centrómero y ayuda a separar las cromátidas hermanas. Es el sitio de unión con los microtúbulos del huso, que contienen los motores de dineína que tiran a los cromosomas en la anafase. Además proveen una plataforma para ensamblar y movilizar las proteínas que construyen el huso.

### Clasificación morfológica de los cromosomas

La posición del centrómero determina el largo de los brazos del cromosoma; en base a esto se puede clasificar a los cromosomas en:

1. **Metacéntricos:** el centrómero en posición central determina brazos de igual longitud.
2. **Submetacéntricos:** un par de brazos es más corto que el otro, pues el centrómero se encuentra alejado del centro.
3. **Acrocéntricos:** el centrómero se halla próximo a uno de los extremos, por lo tanto uno de los brazos es casi inexistente.



En células humanas, los cromosomas acrocéntricos poseen una masa de cromatina llamada **satélite**, en el extremo del brazo corto. El satélite se halla aislado del resto del cromosoma por la constricción secundaria. La zona aledaña al satélite de los cromosomas acrocéntricos contribuye a formar el nucléolo.

### Autoduplicación del ADN

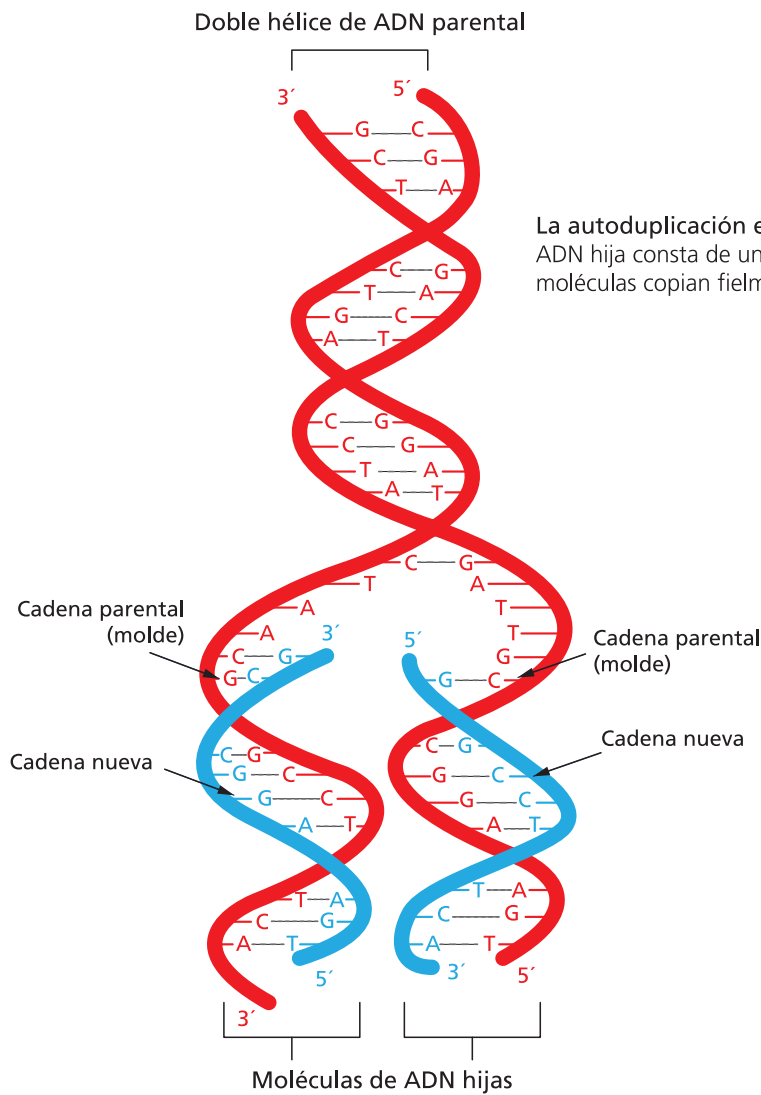
La autoduplicación o replicación del ADN es el proceso por el cual, **partiendo de una molécula de ADN** que se utiliza como molde, **se obtienen dos moléculas de ADN idénticas**.

El nombre de autoduplicación no hace referencia a que el ADN se baste a sí mismo para duplicarse; por el contrario, este proceso requiere una importante batería de enzimas y otras proteínas colaboradoras. Autoduplicación se refiere a que, debido a la estructura de la molé-

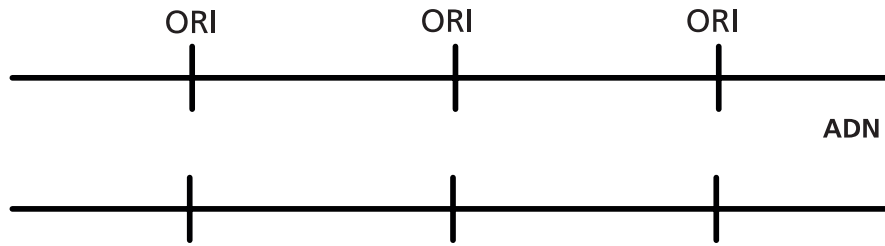
cula, cada una de las dos cadenas puede ser usada como plantilla para la síntesis de una cadena complementaria, es decir que lleva en sí misma la información para sintetizar la copia.

Durante la autoduplicación, las dos cadenas que conforman la molécula de ADN de cada cromosoma se desaparean y sobre las bases expuestas se construye la cadena nueva. Así resultan dos moléculas de ADN. Ambas conservan una sola cadena de la molécula original o parental, mientras que la complementaria es la cadena sintetizada de novo. Se dice por esta característica que la autoduplicación es **semiconservativa**.

Sin embargo, **la secuencia de bases**, donde radica la información, **es copiada fielmente**.

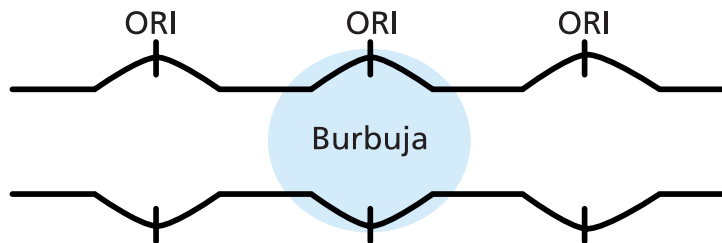


En las células eucariotas, la replicación del ADN de los cromosomas se lleva a cabo totalmente durante el **período S** de la interfase, en el cual el grado de plegamiento de la cromatina es menor que el observado en el período de división celular. La duplicación completa del ADN es un requisito previo para la división. La presencia de **múltiples orígenes de replicación (ORI)** en los cromosomas eucariotas facilita el progreso rápido del proceso, pues éste se inicia simultáneamente en todos los orígenes. Todo el ADN generado a partir de un ORI se denomina **replicón**. El replicón es la unidad de replicación.

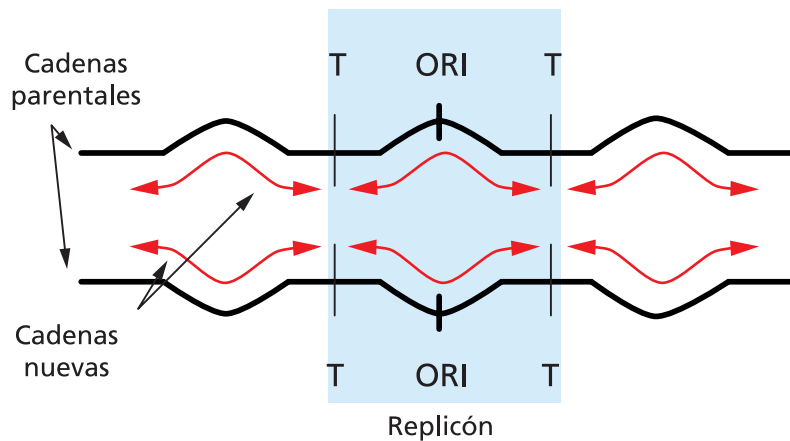


Los cromosomas eucariotas tienen múltiples puntos de origen de replicación (ORI)

A la altura de los orígenes de replicación se abre la doble hélice, generándose una burbuja de replicación, que avanza progresivamente hacia ambos lados del origen, hasta encontrarse con las burbujas correspondientes a los ORI adyacentes, en los llamados **puntos T o de terminación**. A medida que la burbuja avanza, se sintetizan las cadenas de ADN nuevas, también en ambas direcciones. La autoduplicación es entonces **bidireccional**.

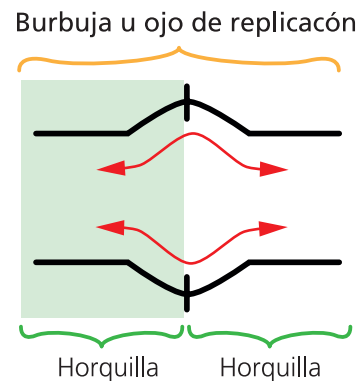


A partir de cada ORI, la doble hélice se abre progresivamente en ambas direcciones, formando una burbuja de replicación.

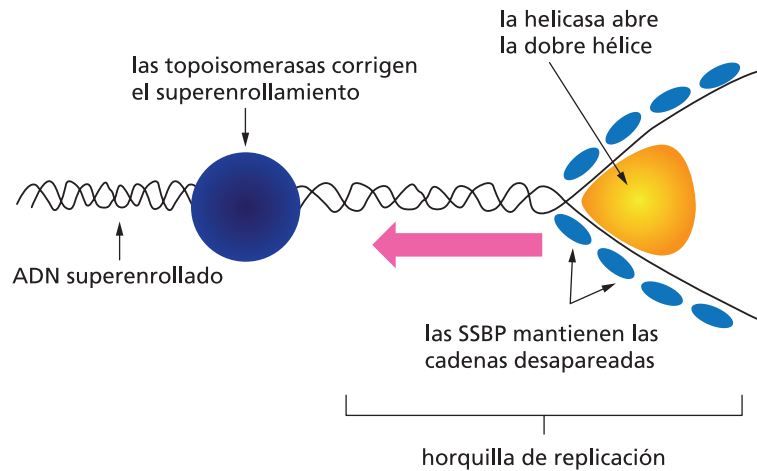


Las cadenas nuevas crecen bidireccionalmente a partir de cada ORI, sobre los moldes proporcionados por las cadenas parentales.

Las dos mitades de una burbuja se llaman **horquillas**. Una enzima **helicasa** es la encargada de abrir la doble hélice en cada horquilla. Las **proteínas de unión a hebra simple** (SSBP: single strand binding proteins) se asocian a las cadenas de ADN evitando que éstas vuelvan a aparearse. Otras enzimas, las **topoisomerasas**, corrigen tensiones generadas en el ADN cuando se abren los ORI.



Las responsables de la síntesis de ADN son las enzimas de la familia de las **ADN polimerasas (ADNpol)**.

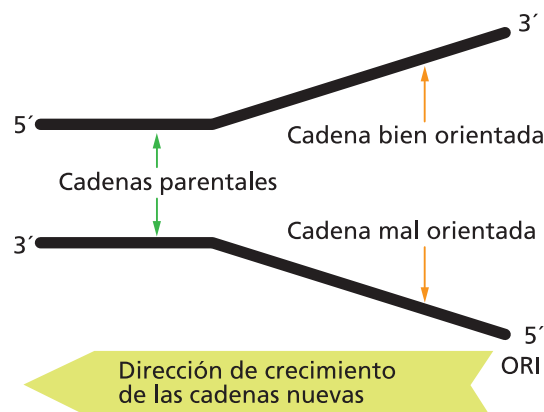


Las ADN pol tienen una serie de características que determinan, en gran medida, la forma en que se lleva adelante el proceso de replicación:

- 1) Las ADN pol son **polimerasas 5'->3'**: solo sintetizan cadenas de ADN en sentido 5'->3', recorriendo el molde en dirección 3'->5'.
- 2) Las ADN pol **no tienen la capacidad para iniciar la síntesis de una cadena** polinucleotídica; solo pueden agregar nucleótidos al extremo 3' de una cadena ya iniciada.
- 3) Las ADN pol **tienen actividad exonucleasa 3'->5'**: significa que pueden eliminar al nucleótido que se encuentra en el extremo 3' de la cadena. (Aunque algunas poseen además la actividad exonucleasa 5'->3, la que les permite eliminar el nucleótido del extremo 5' de la cadena.)

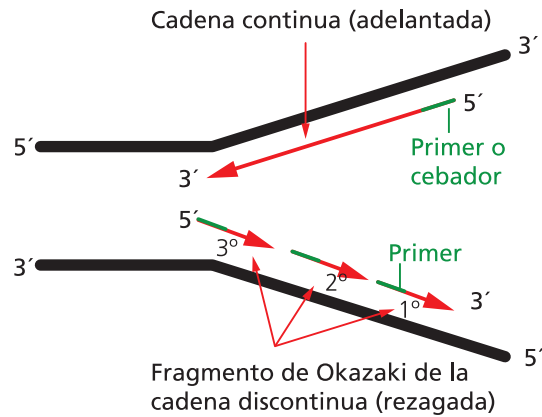
**Consideremos el proceso de replicación en una horquilla:**

Las cadenas que forman una molécula de ADN son antiparalelas. Si las dos cadenas de una horquilla han de ser copiadas a partir del origen hacia el punto de terminación, una de las cadenas nuevas tendrá que crecer en dirección 5'->3 y la otra, en la dirección opuesta, 3'->5'. Teniendo en cuenta que la actividad polimerasa de la ADN pol se cumple sólo de 5'->3', una de las cadenas de la horquilla está bien orientada para la copia, mientras que la otra está mal orientada.



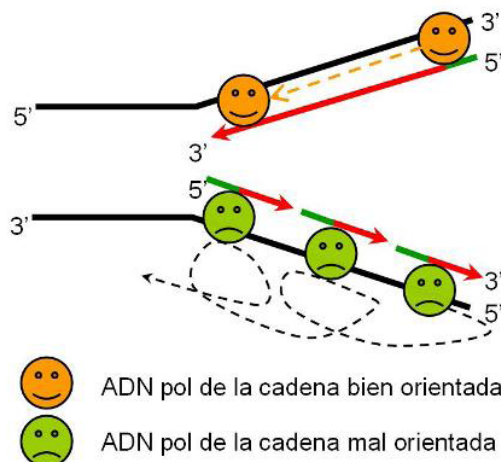


**Sobre la cadena bien orientada**, actúa en primer lugar una enzima **primasa**. Ésta sintetiza una corta cadena de ARN, el “**primer**” o **cebador**, que servirá para proporcionar un extremo 3' libre a la ADN pol. La ADN pol continuará el trabajo de la primasa, agregando desoxirribonuclótidos al extremo 3' del primer. Así fabricará una cadena de ADN, en dirección 5'→3' y en **forma continua**, desde el origen a la terminación. Esta cadena crece rápidamente, por lo cual se la llama **hebra líder o adelantada**.



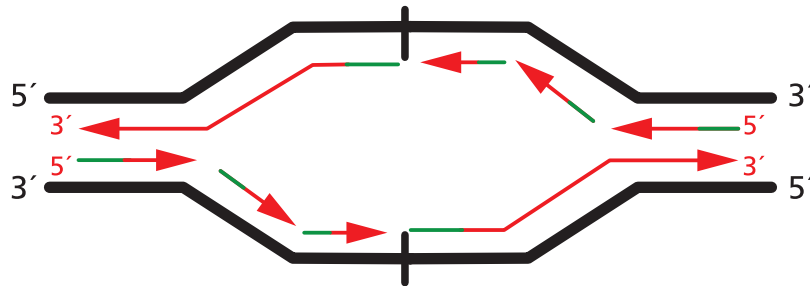
**Sobre la cadena mal orientada**, la ADN pol no empieza su trabajo exactamente en el ORI, sino que se sitúa un poco más allá del mismo, hacia el punto de terminación. Entonces, una vez que la primasa le proporciona el primer, la ADN pol se mueve sobre el molde hasta el ORI, alargando la cadena de 5' a 3'. Cuando llega al ORI, la ADN pol se ve obligada a retroceder en dirección al punto T, a fin de sintetizar otro fragmento en dirección 5'→3', a partir de un nuevo cebador. De esta forma se van agregando fragmentos, de manera tal que la cadena nueva parece estar creciendo desde 3' a 5', aunque en realidad cada fragmento fue sintetizado de 5' a 3', única dirección posible para la ADN pol. Los fragmentos se conocen como **fragmentos de Okazaki** (en el esquema se señalan como 1°, 2°, etc., por orden de síntesis).

La síntesis de ADN es **discontinua** ya que la cadena hija sobre la hebra mal orientada crece fragmentariamente. La cadena discontinua también se llama **rezagada**, pues su crecimiento es más lento que el de la cadena continua.



Cuando se amplía la mirada desde una horquilla hacia la burbuja completa, se puede observar que la cadena que resulta bien orientada en una horquilla es la que está mal orientada

en la otra mitad del replicón y viceversa, ya que ambas horquillas se copian en direcciones opuestas. Es decir: no existen una cadena hija totalmente continua y otra totalmente discontinua, sino que **ambas tienen sectores continuos y sectores discontinuos**. A esta característica se la llama **semidiscontinuidad**.



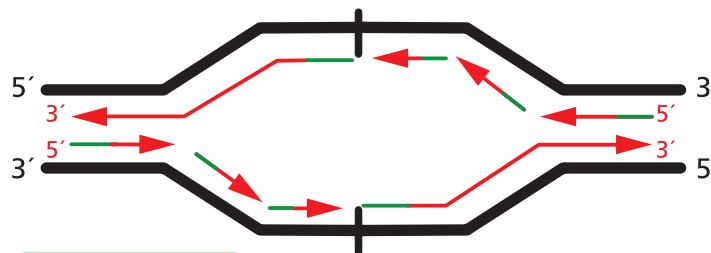
Semidiscontinuidad: en el replicón se observa que ambas cadenas nuevas tienen partes de crecimiento continuo y partes de crecimiento discontinuo.

Una vez completa la síntesis de las cadenas hijas, aún faltan dos trabajos por realizar.

El primero de ellos es remover los primers y reemplazarlos por ADN. La remoción de los primers queda a cargo de enzimas **nucleasas**. El ADN que debe ocupar su lugar es sintetizado por otra enzima ADN pol. Ésta ya cuenta con extremos 3' en los fragmentos de ADN previamente sintetizados. Entonces alarga estas cadenas hasta rellenar la brecha donde estaba el primer.

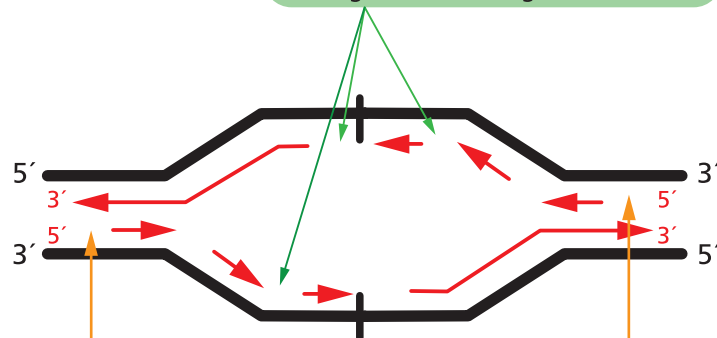
La segunda labor consiste en unir todos los fragmentos de ADN, lo que está a cargo de la enzima **ADN ligasa**.

Los cebadores son cadenas de ARN



Cuando se eliminan los cebadores...

... estos espacios son completados con ADN sintetizado por una ADN pol, que alarga los extremos 3' preexistentes. La ADN ligasa une los fragmentos.



Estos espacios no pueden ser completados por la ADN pol.

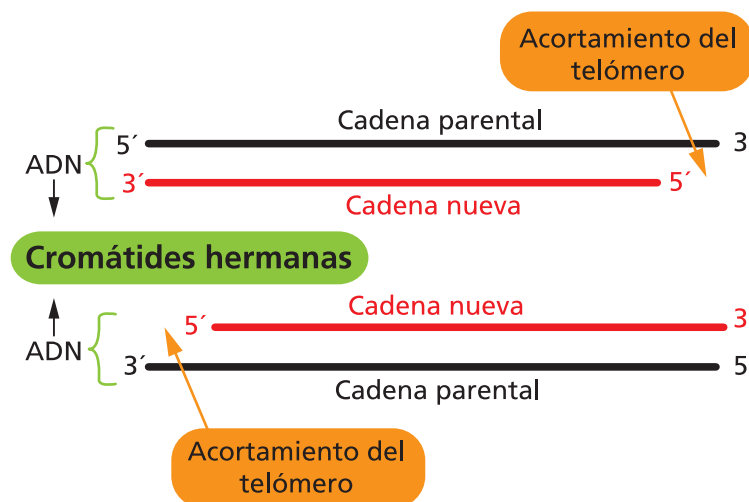
La autoduplicación del ADN, proceso sumamente complejo que involucra a un sinnúmero de enzimas, se cumple con una tasa muy baja de errores en cada ciclo celular. Cada 10.000.000 de nucleótidos añadidos, sólo uno lleva una base erróneamente apareada. Esto es muy importante, pues una alteración en la secuencia de bases (mutación) puede cambiar los mensajes genéticos. ¿Cómo se logra tal grado de eficiencia en la autoduplicación? Esto se debe a la actividad exonucleasa 3'→5' de las ADN pol. Las ADN pol, cada vez que agregan un nucleótido al extremo 3' de una cadena, realizan “una lectura de prueba”. Antes de agregar el nucleótido siguiente, revisan que el último esté correctamente apareado con el molde. De haber ocurrido un error, la enzima lo detecta y corrige, eliminando el nucleótido mal apareado en el extremo 3' de la cadena, gracias a su actividad exonucleasa.

## Telomerasa

Durante la duplicación del ADN, una enzima ADN pol sintetiza los fragmentos de ADN que van a ocupar el sitio vacío, después de la eliminación de los ARN cebadores. Esta enzima alarga los fragmentos de ADN ya existentes, agregando los nucleótidos complementarios al molde en el extremo 3' de la cadena. Así, las cadenas nuevas se van extendiendo, de 5' a 3', hasta rellenar el hueco.

Sin embargo, los extremos 5' de ambas cadenas nuevas, en los telómeros del cromosoma, no pueden ser “rellenados” por la enzima, pues allí no cuenta con ninguna cadena que le proporcione un extremo 3' que alargar. Ese sector de la cadena hija no se sintetiza.

Por consiguiente, los dos cromosomas hijos van a tener una cadena (la sintetizada de novo) con el extremo 5' más corto que el original.



Este **acortamiento de los telómeros** se repite en el siguiente ciclo celular, en las células hijas que heredan los cromosomas. En consecuencia, con el correr de las generaciones celulares, los telómeros van sufriendo un acortamiento progresivo.

El acortamiento de los telómeros está relacionado con la **senescencia o envejecimiento celular**. Se ha comprobado que células en cultivos in vitro (fuera del organismo) se dividen una cierta cantidad de veces, pero luego envejecen y mueren.

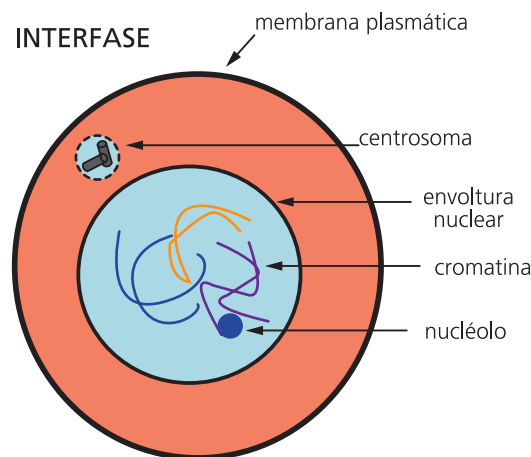
La **telomerasa** es una enzima que alarga los telómeros, compensando la pérdida producida en cada ciclo celular. Las células que poseen telomerasa activa se comportan como líneas inmortales, esto es: se dividen indefinidamente sin envejecer.

La telomerasa activa se encuentra en los organismos unicelulares, las células embrionarias y las células cancerosas.

## Mitosis y Citocinesis

La mitosis es un tipo de división característico de las células eucariontes. La mitosis se inicia en una célula después de la interfase, de manera que sus cromosomas ya se encuentran duplicados. Cada cromosoma consta de dos cromátidas hermanas, es decir dos copias de ADN idénticas. Durante el transcurso de la mitosis dichas copias se separan una de otra, constituyéndose, cada una de ellas, en un cromosoma hijo.

Los dos grupos de cromosomas hijos están destinados a las dos células descendientes. Generalmente la mitosis va acompañada de un proceso de citocinesis o división del citoplasma. **La mitosis genera dos células hijas genéticamente idénticas.** En algunos casos, la célula madre forma dos núcleos hijos, pero no divide el citoplasma; esto da origen a una célula binucleada.



Durante la interfase el núcleo se encuentra organizado. El material genético adopta un estado más laxo. El nucléolo es bien visible.

### Las etapas de la mitosis son:

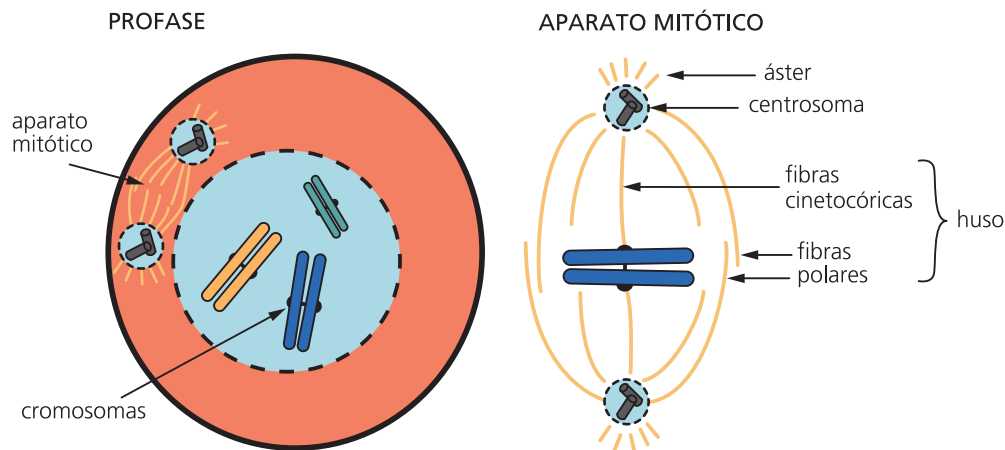
**1.- Profase:** la célula adquiere una forma redondeada debido a cambios en su citoesqueleto. En esta etapa se inicia el proceso que lleva a la cromatina a su máximo grado de empaquetamiento, por lo cual **los cromosomas comienzan a ser cada vez más visibles.** Las asas de cromatina pertenecientes a distintos cromosomas que formaban el nucléolo se retiran y **el nucléolo se dispersa.**

La **envoltura nuclear se disgrega** en pequeñas vesículas que se incorporan al REG. La disgregación de la envoltura nuclear depende de un cambio químico disparado en la lámina nuclear, que le da sostén a la envoltura.

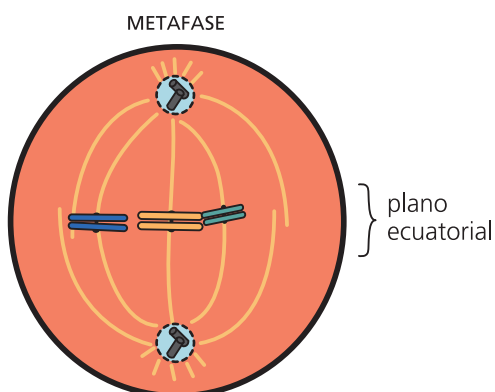
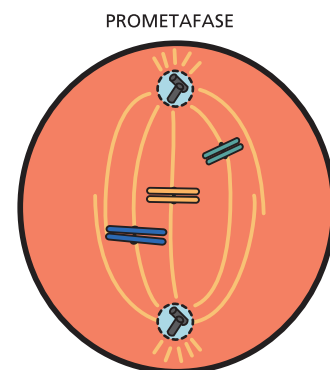
En el citoplasma, los centrosomas con sus centríolos previamente duplicados se empiezan a desplazar hacia polos opuestos. Algunos microtúbulos rodean a los centríolos como rayos,

formando el áster. Entre ambos pares de centriólos crece el huso mitótico o acromático, a partir de la reorganización de los microtúbulos citoplasmáticos. Los centriólos, el áster y el huso conforman el **aparato mitótico**. En el huso mitótico hay dos tipos de fibras: las cromosómicas o cinetocóricas, que se extienden desde un centrosoma hasta los cromosomas, a los que se unirán por medio de sus cinetocoros, y las polares, que se extienden de polo a polo.

Al producirse la disgregación completa de la envoltura nuclear, los cromosomas quedan libres en el citoplasma y se inicia la siguiente etapa.



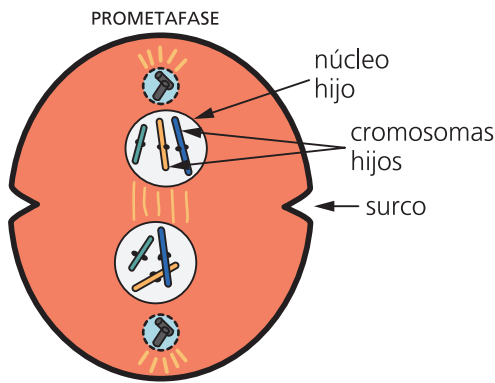
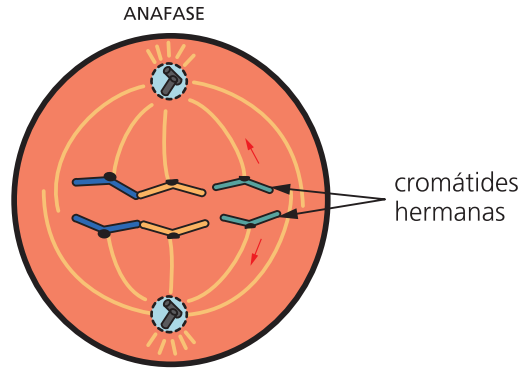
**Prometafase:** las fibras del huso comienzan a invadir la zona nuclear. Las cromátidas hermanas de un cromosoma se unen a fibras cromosómicas del huso provenientes de polos opuestos. Lo hacen a través de sus cinetocoros. Ocurren procesos de polimerización y despolimerización en los microtúbulos que forman las fibras del huso, lo que provoca que éstas “tironen” de los cromosomas y los movilicen.



2.- **Metafase:** los cromosomas, unidos a las fibras cromosómicas, quedan alineados en el **plano medio o ecuatorial** de la célula. Los cinetocoros de las cromátidas hermanas en un mismo cromosoma se orientan hacia polos opuestos. De la ubicación de los cromosomas en esta etapa depende que la separación del material genético entre las futuras células se lleve a cabo correctamente.

3.- **Anafase:** durante las fases anteriores las cromátidas hermanas permanecen unidas por un material que actúa como un pegamento, la cohesina. La cohesina se degrada en la anafase. **La degradación de la cohesina permite la separación de las cromátidas hermanas.** Ésta se produce debido a que las fibras cromosómicas se acortan, arrastrando a los cromosomas que llevan unidos. Así, las cromátidas hermanas, tironeadas por las fibras cromosómicas, inician su migración hacia polos opuestos. Cada cromátide, una vez separada de

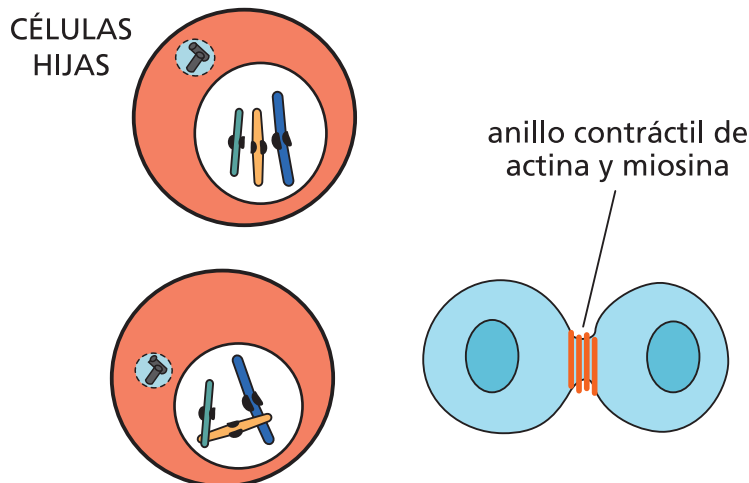
la otra, ya puede ser llamada cromosoma hijo. Los cromosomas hijos se doblan en ángulo a la altura del centrómero mientras son transportados hacia los polos. El cinetocoro, de donde traccionan las fibras cromosómicas, es la parte del cromosoma que primero avanza. Al mismo tiempo que se acortan las fibras cromosómicas, se alargan las fibras polares. Esto causa un alargamiento de la célula y un alejamiento de los polos y contribuye aun más a la separación de los cromosomas hijos. La anafase culmina cuando los cromosomas hijos llegan a los polos.



**4.- Telofase:** En cada polo los cromosomas hijos son rodeados por una envoltura nuclear que se organiza a su alrededor. Los cromosomas se relajan o descondensan y empiezan a hacerse más tenues, hasta adquirir el aspecto interfásico. Se reorganiza el nucléolo en cada núcleo hijo. Se desarma el aparato mitótico, aunque persisten algunos microtúbulos en el plano ecuatorial, formando el cuerpo medio.

### División del citoplasma

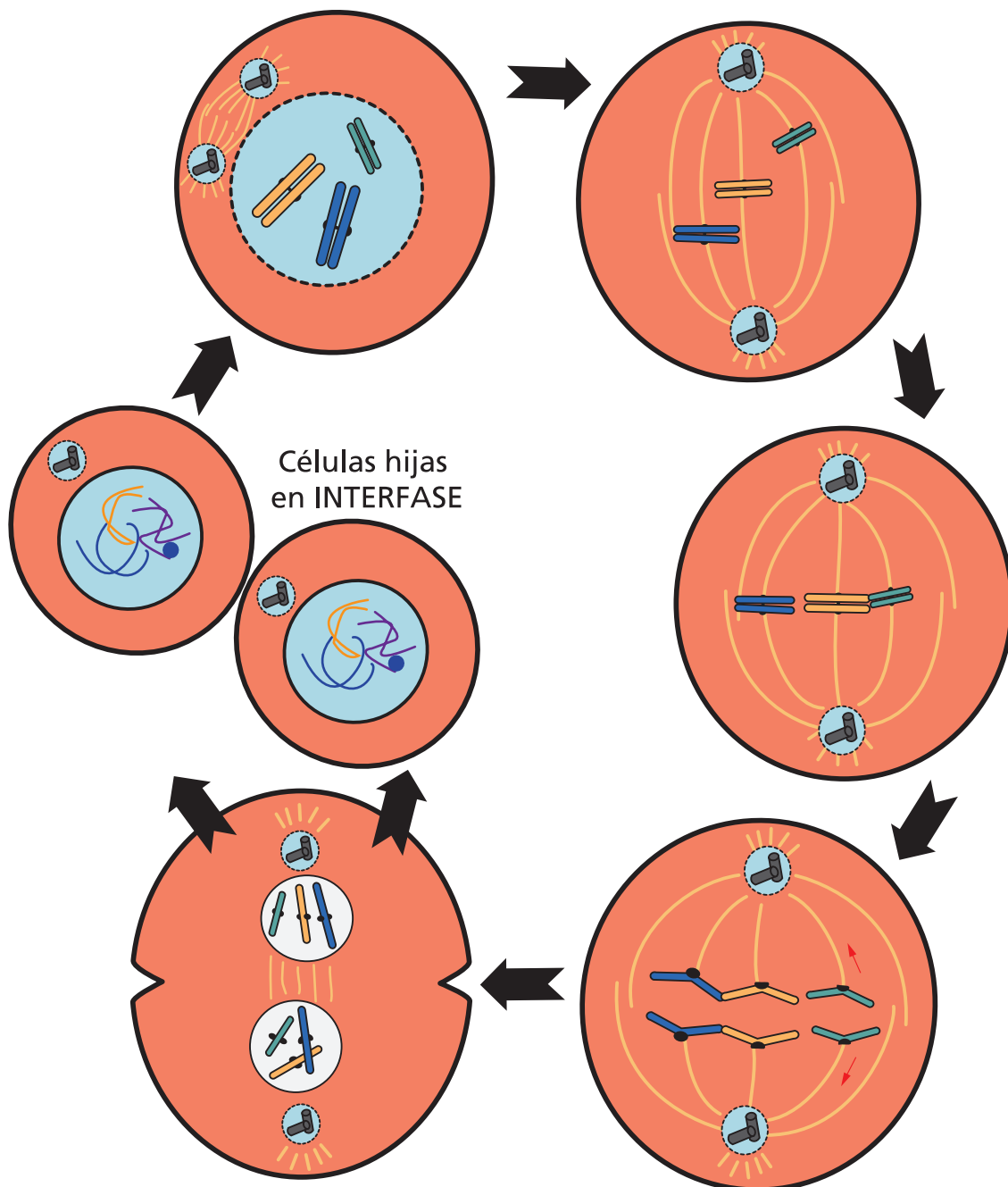
**Citocinesis:** La citocinesis o citodiéresis es la separación del citoplasma. En las células animales, la citocinesis empieza a advertirse ya desde la anafase por la formación de un surco de segmentación en la superficie celular. En la parte media del citoplasma se origina un anillo contráctil. Se trata de una estructura formada por microfilamentos de actina en asociación con la miosina, su proteína motora. La contracción del anillo estrangula el citoplasma hasta producir la separación de las dos células hijas.



## Funciones de la mitosis

En los organismos animales, la mitosis se lleva a cabo en las **células somáticas o corporales**.  
La mitosis permite:

- el crecimiento por aumento en el número de células,
- la reparación y renovación de los tejidos, y
- la formación de un organismo multicelular a partir de la cigota, durante el desarrollo embrionario



## MEIOSIS

La **Meiosis**, es un tipo particular de división nuclear propia de los eucariotas, que consiste en **dos divisiones consecutivas**, que dan como resultado un total de **4 células hijas** cada una de las cuales contiene la **mitad del número de cromosomas** presente en el núcleo de la célula madre o progenitora. Cada núcleo “hijo” recibe sólo un miembro de cada pareja de cromosomas homólogos.

En la especie humana, los 46 cromosomas, constituyen 23 pares de homólogos. En las gametas (óvulos y espermatozoides) la cantidad de cromosomas es exactamente la mitad, existiendo sólo uno de cada clase. Esto ocurre porque son células destinadas a unirse, así cuando un espermatozoide fecunda a un óvulo se reconstituye el número normal de cromosomas de la especie.

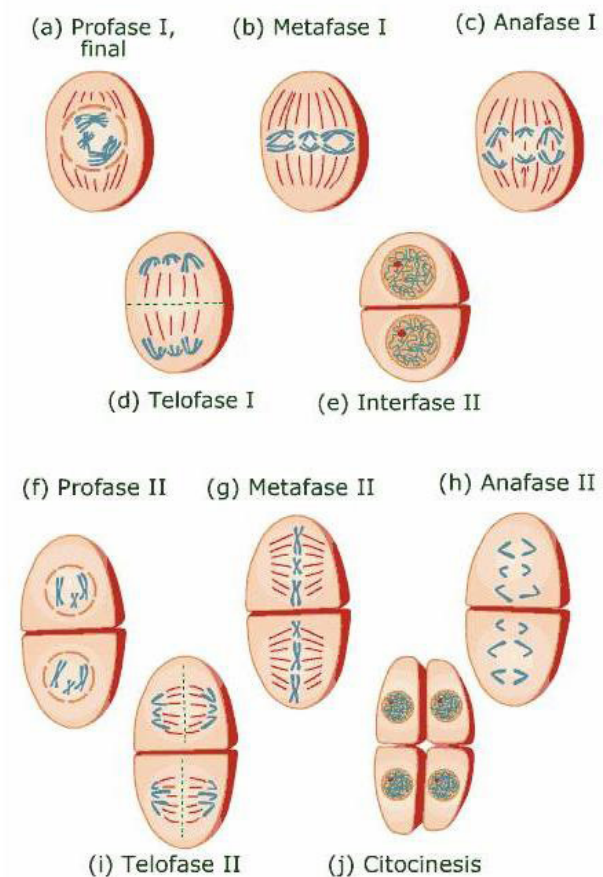
La meiosis se produce en dos etapas, la **meiosis I** y la **meiosis II** y cada una consta de las siguientes fases:

### Meiosis I o Reduccional:

- Profase I: Leptoteno, Zigoteno, Paquiteno, Diploteno y Diacinesis.
- Metafase I
- Anafase I y
- Telofase I

### Meiosis II o Ecuacional:

- Profase II
- Metafase II
- Anafase II y
- Telofase II



### Meiosis I o División Reduccional

Esta división es reduccional porque de una **célula diploide se obtienen dos células haploides**.

#### Profase I

En la interfase anterior a la meiosis, los cromosomas se han replicado por lo cual, al comienzo de la profase cada cromosoma consiste en dos cromátidas hermanas idénticas que se mantienen unidas por el centrómero.

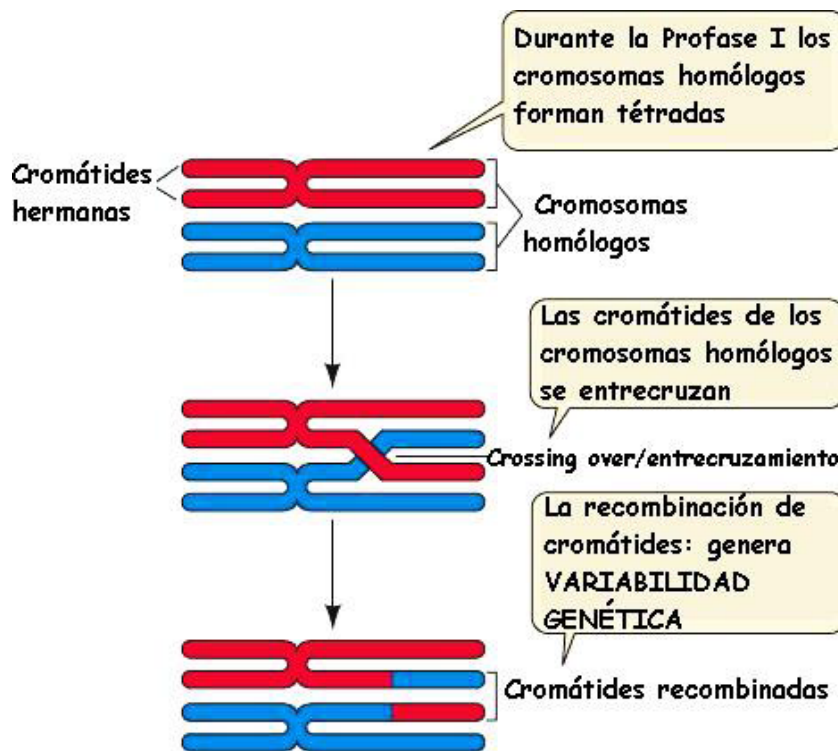


los cromosomas se disponen de a pares, cada uno de los cuales se conoce como homólogo y corresponde a cada progenitor. Un homólogo

**Leptoteno:** los cromosomas se presentan como hilos muy suaves y delicados (lepto: suave, nema: hilo).

**Zigoteno:** los cromosomas homólogos se aparean iniciando la formación del complejo sináptico o sinaptinémico (zigo: unido). Cada complejo de cromosomas homólogos apareados se llama “tétrada” ya que está formada por cuatro cromátides.

**Paquiteno:** ocurre el **crossing-over o recombinación genética**, fenómeno más importante de la reproducción sexual. El crossing-over consiste en el intercambio de un segmento de un cromosoma por el segmento correspondiente del otro cromosoma, es decir, un segmento de cromátida de un homólogo se rompe y se intercambia con otro. Las zonas de ruptura se reparan y **las cromátidas hermanas de cada cromosoma homólogo dejan de ser genéticamente iguales**: el cromosoma paterno contiene ahora partes del materno y viceversa. Este intercambio de material cromosómico es una fuente importante de variabilidad genética.



**Diplonema:** Los cromosomas apareados empiezan a separarse, y esta separación comienza en una zona cualquiera y se extiende en ambas direcciones pero queda detenida en los puntos de intercambio también llamados **quiasmas**.

**Diacinesis:** se produce el desplazamiento de los quiasmas hacia los extremos (**terminalización de los quiasmas**). Los cromosomas homólogos siguen unidos por los quiasmas que ahora se ubican en los extremos y como par de cromosomas unidos pasarán a la Metafase I.

Mientras ocurren los procesos antes mencionados, se desorganiza la envoltura nuclear y se organiza el huso acromático.

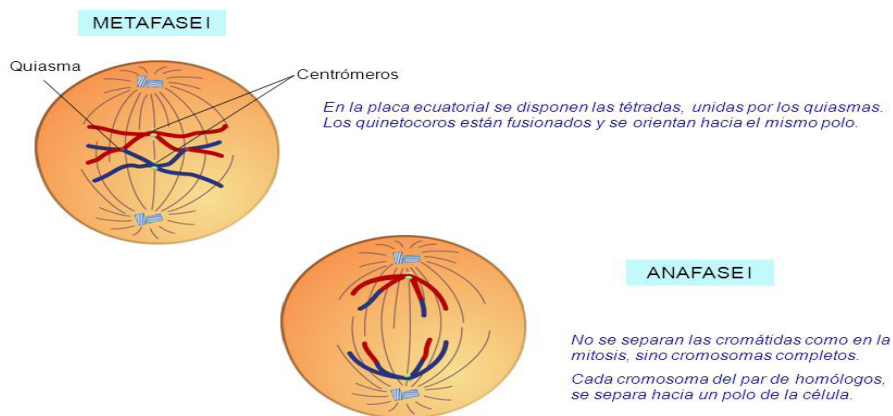
## Metafase I

Los homólogos unidos como en Diacinesis se asocian por sus centrómeros a las fibras del huso, ubicándose en el plano ecuatorial de la célula.

## Anafase I

Se separan los homólogos cada uno hacia polos distintos de la célula. Hacia finales de esta etapa puede observarse el comienzo de la citocinesis (división del citoplasma). Cabe aclarar que la migración de los cromosomas hacia polos opuestos de la célula es al azar. No se separan las cromátidas hermanas como en la mitosis, sino cada cromosoma del par de homólogos, por lo cual, el número de cromosomas se reduce a la mitad.

## Meiosis: metafase I, anafase I



## Telofase I

Los cromosomas ubicados en los polos de la célula se reagrupan. Cada polo recibe la mitad del número de cromosomas de la célula original. Se completa la citocinesis. Luego de este período puede existir un intervalo llamado intercinesis.

## Meiosis II o División Ecuacional

Esta segunda división es muy parecida a la Mitosis, excepto que **no va precedida por una duplicación del ADN**. Al comienzo de esta división los cromosomas pueden haberse dispersado un poco, pero vuelven a condensarse.

## Profase II

Se organiza nuevamente el huso mitótico. Los cromosomas se unen a las fibras del mismo por sus centrómeros.

## Metafase II

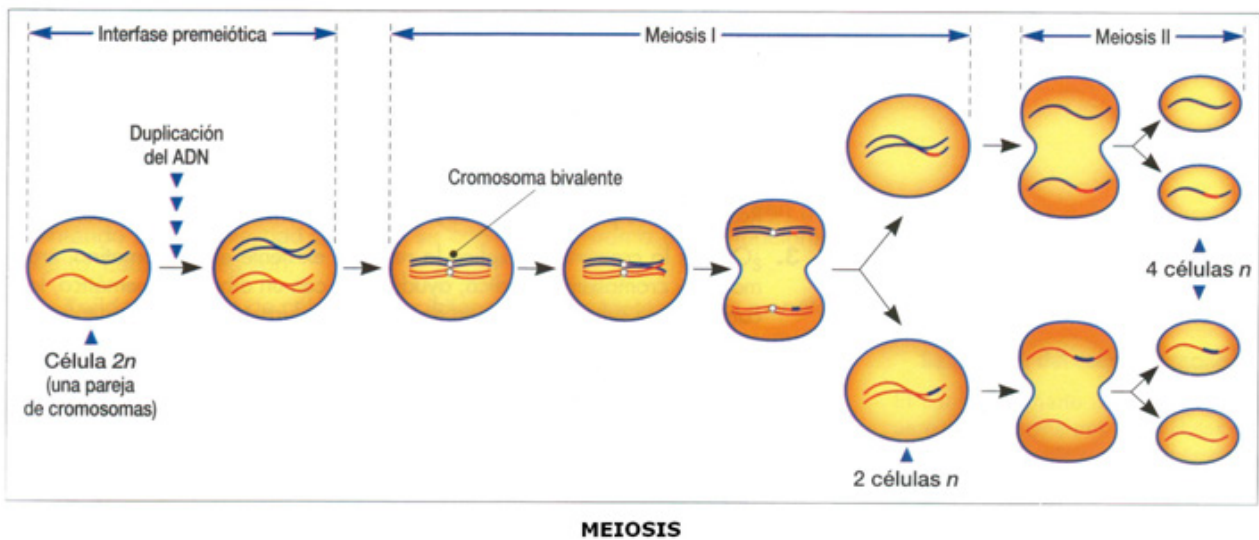
Los cromosomas (cada uno formado por dos cromátidas) se ubican en el *plano ecuatorial*.

## Anafase II

Al igual que en la anafase mitótica las cromátides hermanas de cada cromosoma se separan, migrando hacia polos distintos de la célula.

## Telofase II

Se desorganiza el huso mitótico, se forman las envolturas nucleares. Ahora hay cuatro núcleos hijos, cada uno de los cuales tiene la mitad del número de cromosomas de la célula progenitora. La citocinesis ocurre del mismo modo que tras la mitosis.



## Consecuencias de la Meiosis

La meiosis desde el punto de vista genético se considera un mecanismo destinado a distribuir al azar los genes maternos y paternos en las gametas. Esta distribución al azar es la consecuencia de los procesos que tienen lugar exclusivamente durante la meiosis.

La meiosis es importante porque permite:

- Obtención de gametos.
- La recombinación genética o **crossingover**.
- La segregación al azar de los cromosomas homólogos.
- Como consecuencia de estos procesos la meiosis otorga **variabilidad genética** a la especie.

# INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA CÉLULA

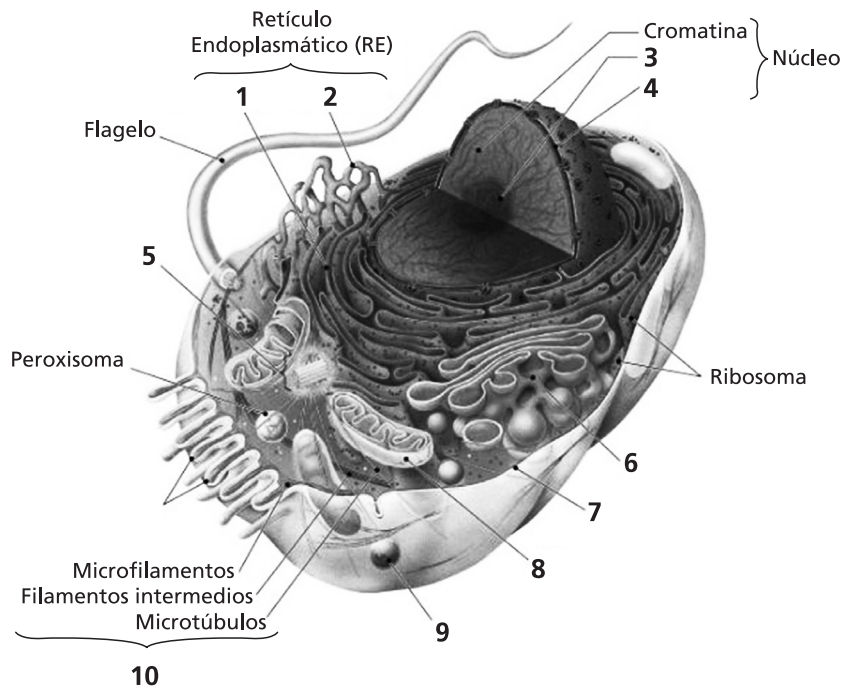
## GUÍA DE ACTIVIDADES

### Actividad 1

#### Resuelve las siguientes consignas.

1. ¿Cuáles son las características que permiten diferenciar las células de los sistemas químicos no vivos?
2. En base a los postulados de la teoría celular, discutan si son seres vivos:
  - el virus del mosaico del tabaco (TMV)
  - el corcho de una botella
  - la planta de girasol (*Helianthus annuus*)
3. El tamaño de las células vivas oscila entre 0,3  $\mu\text{m}$  para las más pequeñas y 100  $\mu\text{m}$  para las más grandes. ¿Por qué no existen células por encima o por debajo de estos límites?
4. ¿Cuáles de las siguientes estructuras no esperarías distinguir con un microscopio óptico?
  - crestas mitocondriales
  - poros de la membrana nuclear
  - las dos capas lipídicas que forman la membrana plasmática
  - núcleo celular
  - ribosomas
5. Elabora un cuadro comparativo donde analices el microscopio óptico y el microscopio electrónico. Puedes consultar la Unidad 1 del apunte de **Ambientación Universitaria** para establecer los criterios de comparación.
6. ¿Cuál es la diferencia entre el DNA de los procariontes y el de los eucariontes?
7. Coloca el nombre del organelo que corresponda:
  - controla las funciones celulares:
  - síntesis de proteínas lisosomales:
  - síntesis de ATP:
  - síntesis de lípidos:
  - degradación enzimática de diversas biomoléculas:
  - formada por una bicapa lipídica:

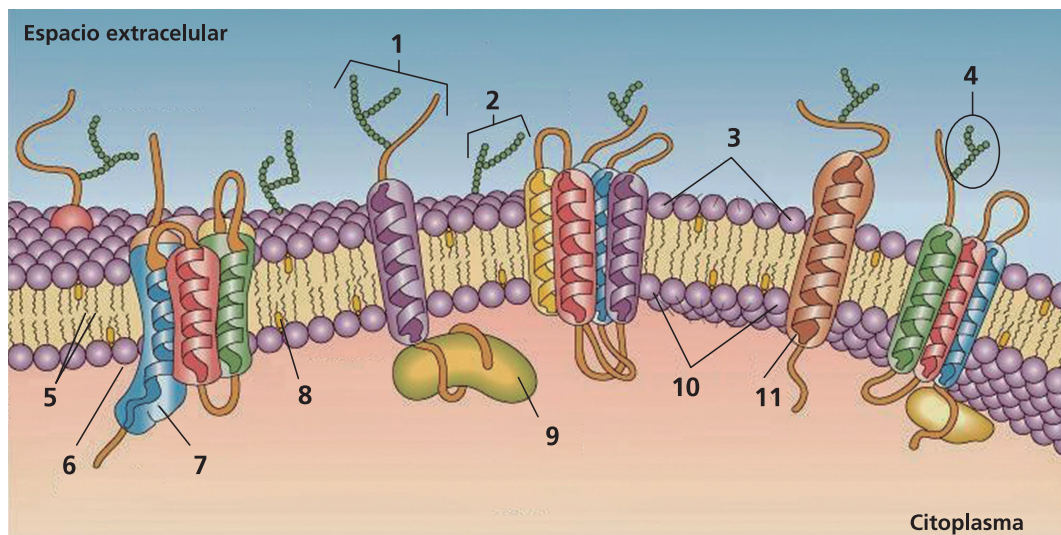
8. Indica a qué estructuras corresponden los números del esquema



9. Completa el siguiente cuadro

Estructura	Función
Membrana celular	
Nucléolo	Síntesis de proteínas
Aparato de Golgi	Transmisión de información hreditaria
Mitocondria	Digestión intracelular

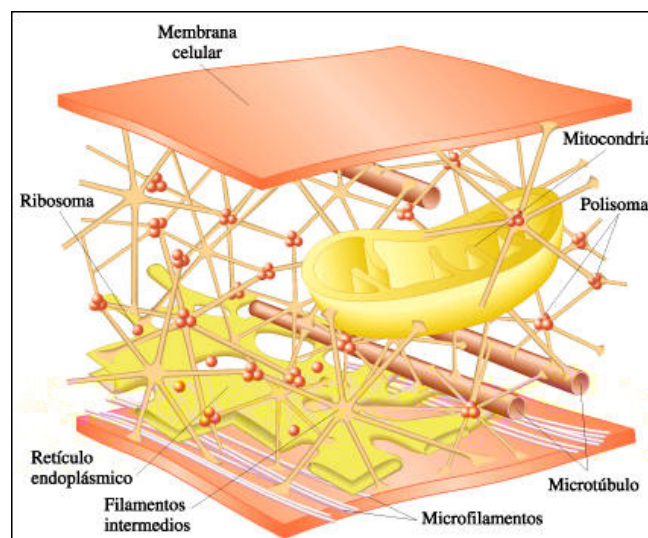
10. Complete el siguiente esquema indicando todos los componentes de la membrana plasmática



11. ¿Cuál es la importancia de las proteínas de membrana? ¿Y la de los carbohidratos (oligosacáridos)?
12. Se inyecta en el torrente circulatorio de un animal una hormona que, pese a entrar en contacto con variados tipos celulares, sólo afecta el funcionamiento de ciertas células. ¿Cómo explicas esta respuesta de células específicas a una hormona en particular?
13. ¿Qué componente principal del citoplasma de una célula eucarionte falta en este párrafo?: “En el citoplasma se pueden distinguir el citosol y las organelas. El citosol es una solución acuosa rica en proteínas, iones y otras moléculas. Las vesículas y las vacuolas, el retículo endoplasmático, el complejo de Golgi y los lisosomas son organelas que constituyen el sistema de endomembranas. Los ribosomas, los peroxisomas, las mitocondrias y los plástidos son otros tipos de estructuras presentes en la célula”.
14. Coloca en la columna B la letra correspondiente de la Columna A

Columna A	Columna B
a. Microfilamentos	Actina
	Proteínas fibrosas
b. Filamentos intermedios	Dímero (subunidades fibrosas)
	Proteína globular
c. Microtúbulos	Tubulina
	Dímero (subunidades globulares)

15. El esquema representa el citoesqueleto. Al respecto, señala:
  - qué estructuras lo constituyen
  - qué relación tiene con los distintos organelas
  - qué relación tienen sus componentes con el movimiento celular.

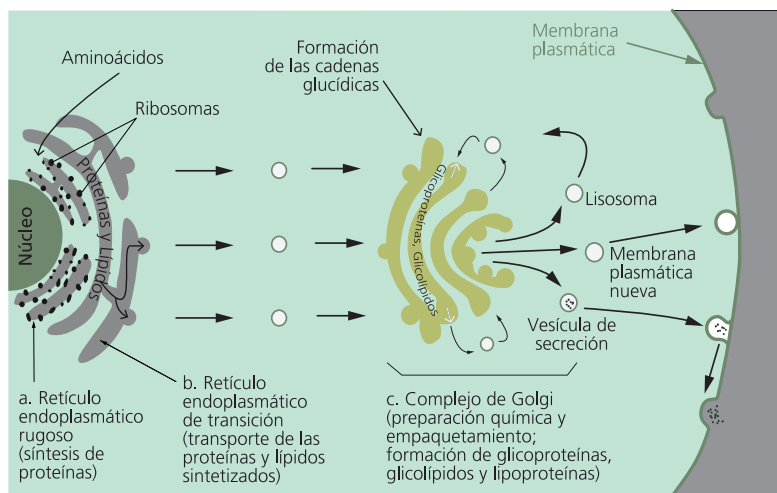


16. Un hombre está en tratamiento médico por esterilidad. El examen microscópico de su semen mostró que los espermatozoides carecen de movilidad y que en

las estructuras microtubulares faltan los “brazos” de dineína. El hombre tiene también bronquitis crónica y otras dificultades respiratorias. ¿Estos síntomas tienen alguna relación entre sí?

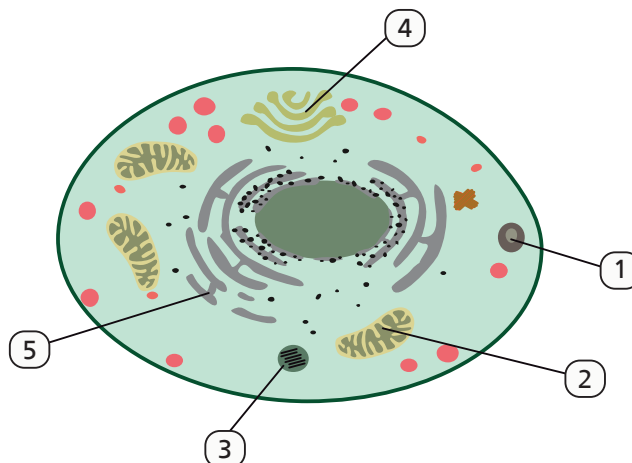
17. En relación al esquema, señala:

- qué relación existe entre aminoácidos que llegan al retículo y los ribosomas presentes en la superficie de esta estructura
- con que función de síntesis se relacionan respectivamente las porciones rugosa y lisa del retículo
- a qué región u organelo se envían los productos sintetizados a nivel del retículo
- qué ocurre con los diversos productos que llegan al complejo de Golgi
- cuál es el destino de los productos que salen del complejo de Golgi
- qué diferencia existe entre una vesícula de secreción y un lisosoma

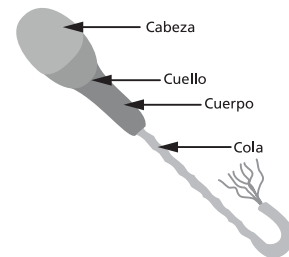


18. **Identifica** los organelos que corresponden a cada uno de los números indicados sabiendo que :

- 1 abunda en células que digieren materiales extracelulares
- 2 proporciona la energía que la célula requiere para realizar sus actividades
- 3 contribuye con sus enzimas a convertir H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en agua y oxígeno
- 4 participa en la formación de lisosomas construyendo sus membranas
- 5 fabrica los fosfolípidos y el colesterol encontrados en la membrana plasmática



19. Las mitocondrias son organelas encargados de la obtención y transformación de energía en las células donde están presentes, poseen su propio ADN y un sistema de ribosomas. Al respecto **señala**:
- el proceso energético que ocurre en su interior
  - la consecuencia derivada de la presencia de ADN y ribosomas
20. **Identifica** la relación existente entre centriolos y apéndices locomotores como cilios y flagelos, señalando además la importancia de estos últimos para la célula o para el organismo que cuenta con ellos.
21. **Deduce** qué tipo de organelo debe alcanzar un gran desarrollo o ser más abundante en:
- **Leucocitos** que destruyen **enzimáticamente** los gérmenes ingeridos mediante fagocitosis
  - **Células intersticiales** del testículo que sintetizan la hormona sexual testosterona (**lípidos** esteroide)
  - **Células plasmáticas** derivadas de los linfocitos B que sintetizan grandes cantidades de **proteínas** que actúan como anticuerpos defendiendo al organismo
  - **Células del epitelio renal** que incorporan activamente, es decir, con **gasto de energía**, glucosa y aminoácidos desde el líquido que constituirá la orina
  - **Células hepáticas** que descomponen **compuestos tóxicos** como el peróxido de hidrógeno en otras sustancias no dañinas para el organismo
22. El espermatozoide es una célula que desplazándose activamente, es decir, con gasto de energía, puede llegar hasta el óvulo y luego de romper enzimáticamente sus envolturas, fusionarse con él para completar el proceso de la fecundación. En relación a lo planteado, **señala razonadamente** tres organelas que le permiten al espermatozoide cumplir con su función fecundante.



## Actividad 2

### RESPIRACIÓN CELULAR

#### a. Resuelve las siguientes consignas.

- 1) Esquematiza la estructura de una mitocondria y describe donde tienen lugar las diversas etapas de la degradación de la glucosa, en relación con estructura mitocondrial.
- 2) Responde: ¿Qué moléculas e iones atraviesan las membranas mitocondriales en estos procesos?
- 3) Distingue lo siguiente:
  - Glucólisis
  - Respiración
  - Fermentación



- vías aerobias
- vías anaerobias
- ciclo de Krebs
- transporte de electrones

4) Analiza la ruta que sigue una molécula de glucosa desde su ingreso a la célula hasta la formación de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Diferencia las etapas. Representa lo analizado mediante un esquema o diagrama.

5) Completa el siguiente cuadro:

Proceso	Glucólisis	Respiración Aeróbica		
		Ciclo de Krebs	Cadena Respiratoria	Fosforilación Oxidativa
Ubicación				
Sustrato				
Producto				
Ganancia				

6) Al retirar de la membrana mitocondrial la porción F1 del complejo ATPsintetasa y estudiarla en solución, funciona como una ATPasa. ¿Por qué no funciona como una ATPsintetasa?

7) En caso de agotarse las reservas de glúcidos y lípidos. ¿A qué compuestos recurre la célula y a qué etapa del metabolismo se incorpora?

8) Si la glucosa está constituida por: carbono, hidrógeno y oxígeno, explica:

- a. ¿Cuál es el destino del H<sup>+</sup> que se desprende en el proceso?
- b. ¿En qué se transforman los átomos de C y O que se liberan?
- c. ¿De dónde proviene la energía almacenada en la glucosa y liberada parcialmente en la glucólisis?

**b. A modo de Autoevaluación**

**PREGUNTAS MULTIPLE OPCIÓN**

1) En la siguiente reacción: " Piruvato + NADH + H<sup>+</sup> → lactato + NAD<sup>+</sup>":

- a. el piruvato se reduce a lactato
- b. el piruvato y NADH son reducidos a lactato y NAD<sup>+</sup>
- c. el piruvato se hidroliza a lactato
- d. el NAD<sup>+</sup> se reduce a NADH

- e. el piruvato dona 2e- del lactato
- 2) La membrana externa de la mitocondria:
- es más permeable que la interna
  - es menos permeable que la interna
  - es donde se localizan las proteínas de la cadena de transporte de electrones
  - sintetiza la matriz intermembranosa
  - presenta pliegues que proveen una mayor superficie de contacto
- 3) ¿Cuál de las siguientes reacciones es común a la respiración aeróbica y a la fermentación?:
- malato  ácido oxalacético
  - fosfoenolpiruvato  piruvato
  - piruvato  lactato
  - piruvato  acetil CoA
  - fosfoenolpiruvato  ácido oxalacético
- 4) ¿Cuál de los siguientes compuestos no se encuentra en la matriz mitocondrial?
- enzimas de la vía glucolítica
  - enzimas del ciclo de Krebs
  - ADN
  - Ribosomas
  - a y c son correctas
- 5) La b-oxidación de ácidos grasos:
- es un proceso citosólico de síntesis
  - tiene menor rendimiento energético por mol de sustrato oxidado que la glucólisis aeróbica
  - se lleva a cabo en la matriz mitocondrial
  - es un proceso de síntesis peroxisomal
  - ninguna es correcta

## DIAGRAMAS de RESUMEN

### ***Ecuación de la Glucólisis***



## VÍAS ANAERÓBICAS

Esquema bioquímico del proceso de fermentación

A) Alcohólica : 2 ácido pirúvico + 2 NADH  $\square$  2 etanol + 2 CO<sub>2</sub> + 2 NAD<sup>+</sup>

B) Láctica : 2 ácido pirúvico + 2 NADH  $\square$  2 ácido láctico + 2 NAD<sup>+</sup>

### RESPIRACIÓN AERÓBICA

Balance parcial de la respiración		
Proceso	Sustrato	Productos
Glucólisis	Glucosa	2 ácido pirúvico 2 ATP 2 NADH
Entrada al ciclo de Krebs	2 ácido pirúvico	2 Acetil CoA 2 CO <sub>2</sub> 2 NADH
Ciclo de Krebs	2 Acetil CoA	4 CO <sub>2</sub> 2 GTP (equivalentes a 2 ATP) 6 NADH 2 FADH <sub>2</sub>
Glucosa	→ 6 CO <sub>2</sub> → 2 ATP → 2 GTP → 10 NADH → 2 FADH <sub>2</sub>	

### RESUMEN DE LA GLUCÓLISIS Y DE LA RESPIRACIÓN

En el citoplasma: Glucólisis →	2 ATP	2 ATP
En las mitocondrias: De la glucólisis: De la respiración Ácido pirúvico → acetil CoA: Ciclo de Krebs:	2 NADH → 6 ATP 1 NADH → 3 ATP (x 2) 1 ATP 3 NADH → 9 ATP (x 2) 1 FADH <sub>2</sub> → 2 ATP	→ 6 ATP* → 6 ATP → 24 ATP
Rendimiento total de ATP → 36 a 38 ATP		
* en algunas células el costo energético de transportar los electrones desde el NADH formado en la glucólisis a través de la membrana mitocondrial interna deprime el rendimiento neto de estos 2 NADH a sólo 4 ATP		

### Actividad 3

### FOTOSÍNTESIS

**a. Resuelve las siguientes consignas.**

1) Tras haber analizado los procesos metabólicos de la fotosíntesis y respiración, estás en condiciones de analizar las siguientes preguntas en términos energéticos de la célula:

- a. ¿Qué proveen a la célula los procesos anabólicos?
- b. ¿Qué proveen a la célula los procesos catabólicos?
- c. ¿Cómo dependen los unos de los otros?

2) Organiza los conceptos que trabajaste en el punto 1 mediante un diagrama u otra forma gráfica.

3) Completa el siguiente cuadro.

	Ubicación celular	Sustrato	Producto	Exergónica o endergónica
<b>Etapa clara de la fotosíntesis</b>				
<b>Etapa oscura de la fotosíntesis</b>				

4) Dibuja un cloroplasto y rotule todas sus membranas y compartimentos.

5) ¿Cuál es la función de los pigmentos accesorios?

6) De los procesos indicados en el siguiente cuadro, identifica el carácter exergónico o endergónico.

Proceso	Exergónico	Endergónico
<b>Síntesis de glucosa</b>		
<b>Hidrólisis de proteínas</b>		
<b>Síntesis de lípidos</b>		
<b>Transporte activo</b>		
<b>Endocitosis</b>		

7) ¿Mediante qué reacción se produce O<sub>2</sub> molecular a partir de H<sub>2</sub>O?

8) ¿Cómo se establece un gradiente protónico a través de la membrana tilacoidal? ¿Cómo se traduce esto en la síntesis de ATP?

9) ¿Cómo se producen y utilizan el ATP y el NADPH durante la fotosíntesis?

10) Justifique la veracidad o falsedad del siguiente enunciado: "Durante la fase clara se libera O<sub>2</sub> a partir del CO<sub>2</sub> por medio de reacciones químicas que requieren ATP".

12) ¿De qué manera la fotosíntesis C<sub>4</sub> es ventajosa para las plantas que la realizan?

**b. A modo de Autoevaluación****PREGUNTAS MULTIPLE OPCIÓN**

- 1) La incidencia de luz sobre la clorofila provoca que ésta:
  - a. se hidrolice liberando su cola de fitol
  - b. libere electrones
  - c. libere oxígeno al medio
  - d. capte electrones
  - e. dióxido de carbono del medio
  
- 2) ¿Cuál de las siguientes parejas: proceso/localización no se corresponde:
  - a. reacción lumínica / grana
  - b. cadena de transporte de electrones /membrana tilacoide
  - c. ciclo de Calvin / estroma del cloroplasto
  - d. doble membrana del cloroplasto /ATP sintetasa
  
- 3) La clorofila II conocida como clorofila P680 es reducida por los electrones provenientes del:
  - a. Fotosistema I
  - b. Fotosistema II
  - c. Agua
  - d. NADPH
  - e. NADP
  
- 4) Los electrones que circulan a través de los dos fotosistemas tiene su menor energía potencial a nivel del:
  - a. P700
  - b. P680
  - c. NADPH
  - d. Agua
  
- 5) ¿Cuántas vueltas del ciclo de Calvin son necesarias para producir una molécula de glucosa?
  - a. 1
  - b. 2
  - c. 3
  - d. 5
  - e. 6

**CUADROS de RESUMEN**

**RESUMEN DE LAS ECUACIONES DE LA FOTOSÍNTESIS**

Ecuación general de las reacciones dependientes de la luz:

$$12 \text{ H}_2\text{O} + 12 \text{ NADP}^+ + 18 \text{ ADP} + 18 \text{ P}_i \longrightarrow 6 \text{ O}_2 + 12 \text{ NADPH} + 12 \text{ H}^+ + 18 \text{ ATP}$$

Ecuación general de las reacciones independientes de la luz:

$$12 \text{ NADPH} + 12 \text{ H}^+ + 18 \text{ ATP} + 6 \text{ CO}_2 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 12 \text{ NADP}^+ + 18 \text{ ADP} + 18 \text{ P}_i + 6 \text{ H}_2\text{O}$$

Procediendo a la simplificación de los elementos comunes en ambos lados de las ecuaciones acopladas, se obtiene la ecuación global simplificada de la fotosíntesis:

$$6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$$

RESUMEN DE LAS PRINCIPALES REACCIONES DE LA FOTOSÍNTESIS			
Serie de reacciones	Resumen del proceso	Materiales necesarios	Productos finales
Reacciones dependientes de la luz (en la membrana tilacoidal)	Se utiliza la energía de la luz solar para dividir el agua, sintetizar ATP y reducir el NADP		
Reacciones fotoquímicas	Se energiza la clorofila, el centro de reacción envía un electrón energizado hacia un aceptor de electrones	Energía lumínica, pigmentos como la clorofila	
Transporte de electrones	Los electrones son transportados a lo largo de una cadena de aceptores de electrones en las membranas tilacoidales; los electrones, reducen el NADP <sup>+</sup> , la división del agua genera H <sup>+</sup> , que se acumulan dentro de los tilacoides.	Electrones, NADP <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> O	NADPH + H <sup>+</sup> + O <sub>2</sub> ; H <sup>+</sup>
Quimiósmosis	Se bombea H <sup>+</sup> a través de la membrana tilacoidal, formando un gradiente de protones; esos protones regresan a través de los conductos especiales de la membrana formados por el complejo proteínico CF <sub>0</sub> - CF <sub>1</sub> ; se produce ATP.	Un gradiente protónico y un potencial de membrana; ADP + P <sub>i</sub> (fosfato inorgánico)	ATP
Reacciones independientes de la luz (en el estroma)	Fijación de CO <sub>2</sub> . El CO <sub>2</sub> se combina con un compuesto orgánico	Ribulobifosfato, CO <sub>2</sub> , ATP, NADPH + H <sup>+</sup>	

## Actividad 4

### NATURALEZA Y FLUJO DE LA INFORMACIÓN GENÉTICA

#### Resuelve las siguientes consignas.

- 1) ¿Qué diferencia existe entre una base nitrogenada, un nucleósido y un nucleótido?
- 2) Realiza un cuadro comparativo entre ADN y ARN, utilizando los siguientes criterios: tipo de pentosa, tipo de bases nitrogenadas, tipo de cadena, ubicación en la célula, función, tipos principales, unión entre nucleótidos, unión entre cadenas.
- 3) Una molécula de ARN posee los siguientes porcentajes de bases: A= 23%, U= 42%, C= 21% y G= 14%
  - a. ¿El ARN es de cadena simple o de cadena doble? Justifica tu respuesta en base a estos porcentajes
  - b. ¿Cuál sería el porcentaje de bases en la cadena molde de ADN que contiene el gen para este ARN?
- 4) Indica cuál o cuáles de las siguientes composiciones porcentuales de nucleótidos no se podría encontrar en los cromosomas de un ser vivo (considerando un razonable error experimental). Explica por qué.
  - a. A= 20,1; C= 30,0; G= 29,6; T= 20,3
  - b. A= 30,2; C= 30,3; G= 19,9; T= 19,6
  - c. A= 25,0; C= 25,1; G= 24,9 ; T= 25,0
  - d. A= 15,8; C= 33,7; G= 34,3; T= 16,2
- 5) Beadle y Tatum lograron identificar las mutaciones que afectaban específicamente la actividad de una enzima; los resultados de estos experimentos les permitieron formular una frase que causó impacto en aquellos días: "Un gen: una enzima". ¿Cuáles son las objeciones que se le hicieron con posterioridad y cómo evolucionó el concepto?
- 6) Durante la transcripción, el mRNA sufre un proceso de corte y eliminación de secuencias, llamadas intrones, y el posterior empalme de las secuencias restantes, los exones. ¿Cómo se denomina este proceso?
- 7) Peter Parker (famoso personaje de historieta, conocido también como el Hombre Araña) fue picado por una araña radiactiva. A partir de ese acontecimiento experimentó mutaciones en su material genético que le confirieron habilidades arácnidas. Una de esas habilidades le permite trasladarse por la ciudad utilizando la telaraña que él mismo produce. Si bien la aparición de caracteres arácnidos debidos a modificaciones genéticas inducidas por radiactividad es inverosímil, no es descabellado esperar que la maquinaria de transcripción y traducción de una célula humana sea capaz de sintetizar proteínas a partir de un gen de araña.
  - a. ¿Qué característica del código genético posibilitaría tal hecho?
  - b. ¿Qué indica esta característica acerca del origen del código?
- 8) La siguiente secuencia está presente en una cadena de una molécula de ADN. Escribe la secuencia de anticodones que correspondería a este segmento, y los aminoácidos que resultarían al traducirla: 3'-CATTGACCGA-5'.

- 9) Las moléculas de tRNA para sintetizar el péptido arg-lis-pro-met contienen los siguientes anticodones:
- (3') GCU (5')
  - (3') UUU (5')
  - (3') GGU (5')
  - (3') UAC (5')
- a. ¿Cuál es la secuencia de nucleótidos que codifica este péptido en la molécula de DNA (cadena codificante)?
- 10) Establece diferencias entre transcripción y traducción.
- 11) La traducción es la conversión de la secuencia de nucleótidos del RNA en la secuencia de aminoácidos de un polipéptido. ¿Qué tipos de RNA participan en este proceso?
- 12) Describe qué ocurre en las etapas de la síntesis de proteínas.
- 13) Cuando se observan las fibras de cromatina al microscopio electrónico aparecen unas estructuras repetitivas a las que se ha dado en llamar "el collar de perlas". ¿En qué consiste esta estructura?
- 14) ¿Qué ventaja representa para las células eucariotas empaquetar sus moléculas de DNA junto con proteínas histónicas?
- 15) ¿Por qué consideramos poco adecuado denominar a la *interfase* período de reposo?
- 16) ¿Todas las células de un organismo pluricelular tienen la misma información genética?
- 17) ¿El ciclo celular puede detenerse temporalmente en alguna etapa?
- 18) ¿Por qué es tan importante la fase S?
- 19) La duración de una vuelta completa del ciclo celular varía con dependencia de ciertos factores. ¿Cuáles?
- 20) Durante la fase G<sub>2</sub>, los cromosomas recién duplicados comienzan a enrollarse lentamente y a condensarse en forma compacta. ¿Qué permite este proceso?
- 21) Describe las partes que pueden identificarse en un cromosoma.
- 22) Clasifica los cromosomas según su morfología.
- 23) ¿Cómo se denomina cada una de las copias de DNA que forman el cromosoma, cómo están unidas y en qué sitio?
- 24) ¿Por qué la replicación es semiconservativa?
- 25) ¿Qué diferencia existe entre burbuja y horquilla de replicación?
- 26) Compara la transcripción y la replicación. ¿En qué se parecen estos procesos y en

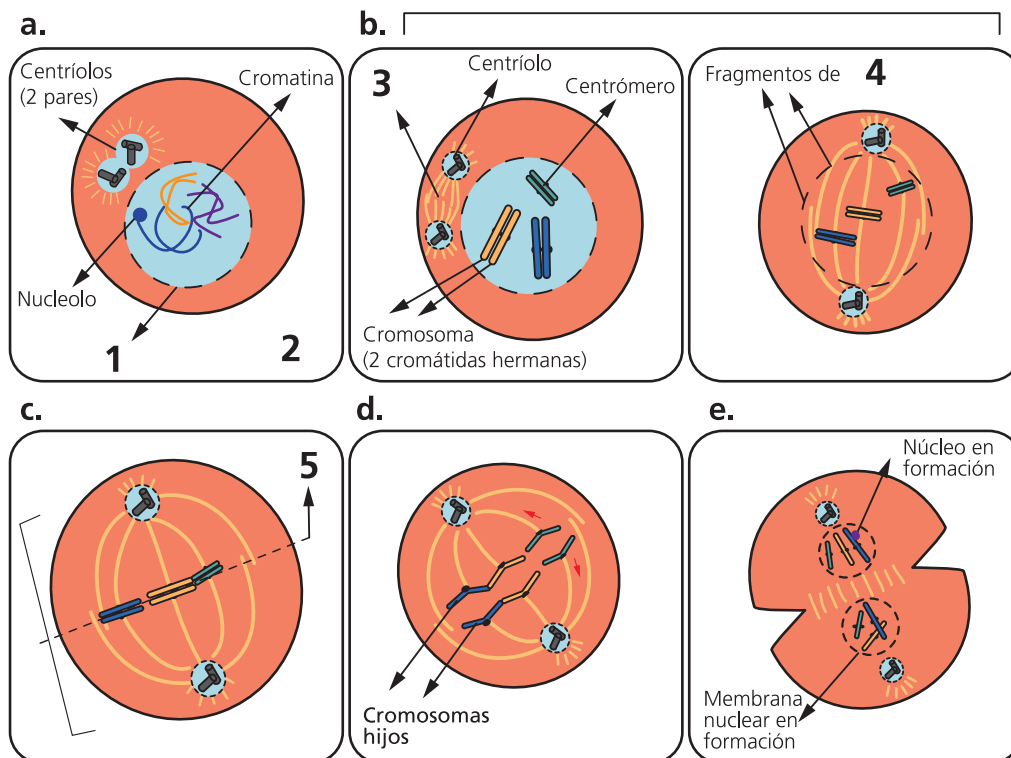


qué difieren? Puedes guiarte por estos criterios: molécula sintetizada, dirección de síntesis, enzima que separa la doble hélice, enzima que polimeriza, nº de cadenas molde, burbuja formada.

- 27) ¿Cuál es la enzima que impide la pérdida de nucleótidos de los extremos de los cromosomas en las sucesivas divisiones celulares? Menciona al menos dos tipos de células que no son afectadas por el acortamiento de los telómeros y por qué.
- 28) De las siguientes etapas del ciclo celular, señala cuáles de ellas pertenecen a la interfase y cuáles a la mitosis: telofase, período G1, período G2, profase, período S, anafase, metafase.
- 29) ¿Cuál es la función de las fibras polares y cinetocóricas que forman el huso mitótico?
- 30) ¿En cuántas fases se divide la mitosis y cómo se denominan?
- 31) Completa los nombres de estructuras indicados con números, y las etapas del ciclo celular señalados con letras

a-  
b-  
c-  
d-  
e-

1-  
2-  
3-  
4-  
5-





# ANEXOS

---

## CICLO DE INTRODUCCIÓN A LOS ESTUDIOS UNIVERSITARIOS

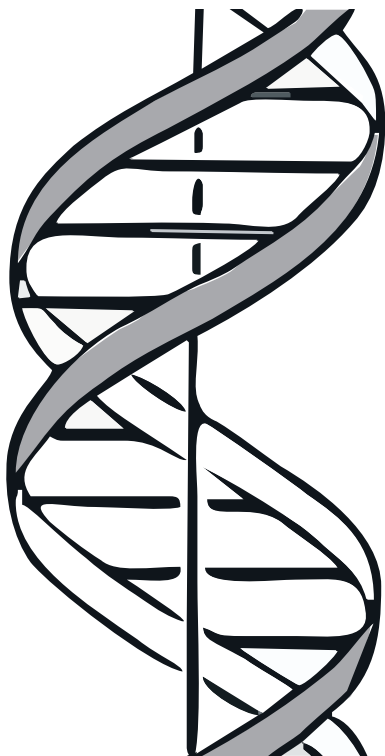
Compiló:

María Eugenia Drewniak



## ANEXO 1

## EL DESCUBRIMIENTO DE LA ESTRUCTURA DEL ADN CUMPLIRÁ 60 AÑOS



Detalle del gráfico con el que Watson y Crick explicaban en la revista *Nature* la estructura del ADN

El 25 de abril de 1953, la revista científica *Nature* publicó un texto en el que los científicos estadounidenses James Watson y británico Francis Crick presentaban en sociedad su hallazgo de la estructura molecular en forma de doble hélice del ADN, la molécula portadora del programa genético de los organismos vivos. El descubrimiento de los planos por los que se rige la molécula de la vida propició avances de los que se han derivado el diagnóstico y la terapia genéticos o la creación de animales y plantas transgénicos. Claro que el desarrollo de estas disciplinas también ha originado problemas como la patente de los genes humanos o la selección genética de las personas.

La suma de las dos mentes geniales que resolvieron el enigma se produjo en Cambridge (Reino Unido) en 1951. En otoño de aquel año, el joven biólogo norteamericano Jim Watson llegó a la universidad de Cambridge, donde físicos y químicos investigaban las estructuras de las proteínas. El recién llegado intuía que la importancia de una desconocida molécula, el ácido desoxirribonucleico o ADN, era superior a la de las proteínas y que podría tratarse, in-

cluso, de la mítica y ansiada molécula de la vida, responsable de la transmisión de los caracteres hereditarios de los seres vivos.

Esta idea había nacido en la primavera de ese mismo año, cuando, en un congreso celebrado en Nápoles, Watson coincidió con un físico inglés, Maurice Wilkins, que mostró a los participantes una fotografía del ADN obtenida mediante la técnica de difracción de rayos X. En ella se observaba que la molécula parecía poseer una estructura de forma regular.

El propósito de Watson de desvelar las características del ADN se vio respaldado por un polémico investigador del Cavendish, Francis Crick. Ambos dedicaron sus esfuerzos a interpretar las fotografías que Rosalind Franklin y Maurice Wilkins obtenían mediante la difracción de rayos X. La empresa se convirtió en una carrera contrarreloj porque Wilkins también trataba de desentrañar el ADN al otro lado del Atlántico.

### Dos nuevas pistas

Tras realizar infinidad de modelos tridimensionales que no llegaban a conseguir ningún resultado convincente, ocurrieron dos sucesos capitales para la solución definitiva del problema. Por un lado, Watson y Crick encontraron los trabajos desarrollados durante la década

de los cuarenta por el bioquímico austriaco Chargaff, en los que se ponía de manifiesto que la composición del ADN estaba en relación directa con la especie viva de la que procedía y que reforzaban la idea de que este ácido debía ser el portador de los caracteres hereditarios.

Por otro, James Watson fue instado a dejar de investigar sobre el ADN y a dedicarse al estudio del virus del mosaico del tabaco. Sin llegar a saltarse la prohibición, Watson dirigió su interés hacia el material genético de este virus, el ácido ribonucleico o ARN. Lo que descubrió resultó fundamental para el desentrañamiento posterior del ADN: la estructura cristalográfica de aquél era una hélice, lo que le hizo preguntarse si ésta podía ser la configuración del ADN.

Manejando esta hipótesis, que parecía encajar con los datos que ya tenían, se llegó a la conclusión de que la molécula de ADN estaba constituida por dos cadenas lineales enrolladas helicoidalmente entre sí. El modelo tridimensional presentado sobre el ADN no sólo explicaba sus propiedades físicas y químicas, sino que dejaba entrever el mecanismo por el que la información genética podía replicarse con exactitud y perpetuar la transmisión de los caracteres hereditarios generación tras generación: la existencia de dos hebras complementarias, en función de sus bases nitrogenadas, era la clave. Francis Crick, James Watson y Maurice Wilkins recibieron el Premio Nobel de Fisiología por sus descubrimientos 11 años más tarde.

## ANEXO 2

## LOS EXPERIMENTOS DE VAN HELMONT

Johannes Baptista Van Helmont (1579-1644) realizó numerosos experimentos, o *experimenta mechanica*, para sostener sus proposiciones sobre los fenómenos visibles en la naturaleza. Tanto es así que su práctica ha venido siendo etiquetada como “cuantitativa” y “controlada”<sup>2</sup>. Robert Halleux ha declarado que podemos ver en la obra de Van Helmont: “...las primeras tendencias de un método de investigación fundado en experimentos organizados y demostrados”<sup>3</sup>. William R. Newman y Lawrence M. Principe, reconocidos investigadores de la historia de la alquimia, nos han ayudado recientemente a comprender la praxis experimental de Van Helmont poniendo de manifiesto que utilizaba la ciencia matemática tanto como un químico moderno<sup>4</sup>.

Se ha seleccionado, para analizar, este experimento basándome en su depurada metodología y en el importante nivel de detalle que ofrecen acerca de la práctica experimental de Van Helmont. De ello se desprende que los experimentos llamados “mecánicos” fueron de gran importancia para este autor. Intentaré explicar más adelante el carácter de ese tipo de experiencias, si bien ya puedo subrayar, como Newman y Principe han hecho, que el término “mecánico” es aquí algo engañoso, porque no se refiere a la mecánica del aristotelismo. Para él, un experimento mecánico era una experiencia controlada, en la cual el filósofo natural manipula un proceso de manera premeditada y “de su propia mano”. Aunque muchas de las conclusiones de los experimentos de Van Helmont son erróneas, la idea implícita en su praxis experimental fue muy fecunda.

Una descripción de su experimento más conocido, el experimento con el sauce, que Van Helmont también consideró como una prueba “mecánica”. Newman y Principe hacen notar que este experimento ilustra con acierto el carácter cuantitativo de la praxis experimental de Van Helmonts. Aquí, el *explanandum* es el peso y el crecimiento del árbol durante un período de cinco años. Antes de nada se determina el peso de la tierra en la maceta (200 libras). Nótese que la tierra ha sido secada sobre un fuego y se utiliza aislada del entorno por medio de un enrejado que encierra perfectamente el tronco del árbol. Esto garantiza, según Van Helmont, que solamente se encuentren en la maceta la tierra seca original y el agua que incorporemos a lo largo del experimento. Este agua era pura, según Van Helmont, pues era agua destilada o agua de lluvia.

Después de cinco años el sauce creció hasta aumentar de 5 libras a 169 (164 libras adicionales). Van Helmont solamente pesó la madera, el tronco y las raíces (“*ligni, corticum, & radicum*”), empero no sé por qué no pesó las hojas. Tampoco tuvo en cuenta que la cantidad de tierra había disminuido algo durante estos años. Además, hay que tener presente que nuestro autor desconocía el aporte de minerales que el agua hace a las plantas<sup>5</sup>. Como Van Hel-

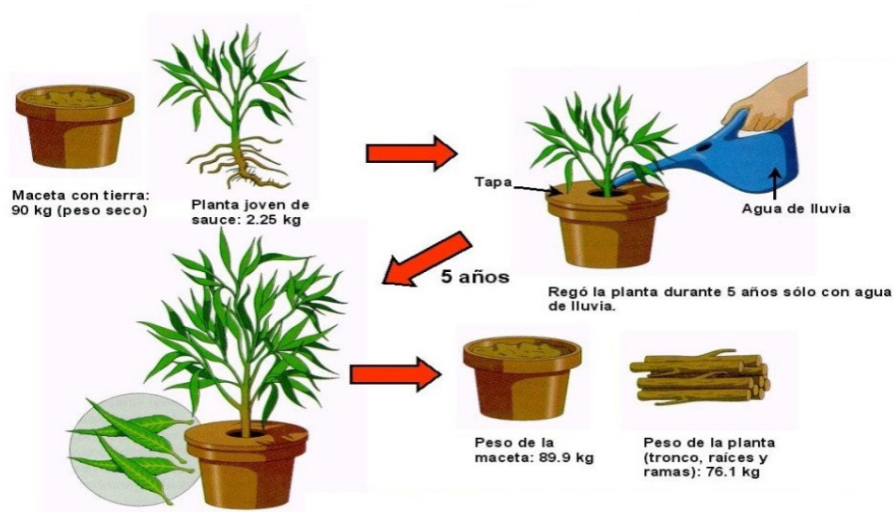
2. W.H. BROCK (1991), *The Fontana History of Chemistry*, Fontana, Glasgow, pp. 50-51.

3. R. HALLEUX (1988), “Theory and Experiment in the Early Writings of Johan Baptist Van Helmont”, en: D. Batens y J. P. Van Bendegem (eds.), *Theory and Experiment, Recent Insights and New Perspectives on Their Relation*, Springer, Dordrecht/Boston/Lancaster/Tokyo, pp. 93-102, p. 98.

4. WILLIAM R. NEWMAN & LAWRENCE PRINCIPE (2002), *Alchemy Tried in the Fire, Starkey, Boyle and the Fate of Helmontian Chymistry*, University of Chicago Press, Chicago/London, p. 319.

5. James Woodward demostró en el año 1700 que los minerales son distribuidos por el agua en los

mont pensó que solamente incorporaba el agua pura, y como supuso que ninguna partícula pudo entrar en la planta, concluyó que sólo el agua pudo generar el crecimiento del sauce.



### El carácter cuantitativo y controlado de los experimentos de Van Helmont

Aunque los aspectos cuantitativos importan en la práctica experimental de Van Helmont, (cfr. su énfasis en la conservación de la materia y el peso), y aunque hay muchas referencias a la matemática en las descripciones de sus experimentos, sería engañoso decir que sus experimentos estaban tan “matematizados” como los actuales. Por ejemplo, Van Helmont informaba muy pocas veces a su lector acerca de mediciones concretas que el autor obviamente ejecutaba, de manera que la importancia de la matemática se limitaba a determinar de una manera aproximada el peso y la densidad de una materia dada. Ciertamente, a veces los valores calculados por Van Helmont se acercan a los manejados hoy día. Por ejemplo, Newman y Principe han indicado que su ordenación de las proporciones de la densidad de estaño (su patrón), hierro, plata, plomo, mercurio y oro difiere solamente un dos por ciento de la actual. Pero, en la mayoría de los casos Van Helmont se contentaba con un “más o menos”.

En la obra de Van Helmont vemos claramente una metodología digamos “intervencionista”, que difiere radicalmente de la obsesión escolástica por limitarse de hacer distinciones conceptuales. Según esta metodología “intervencionista”, el hombre descubre las relaciones causales de un fenómeno o hecho natural con el fin intervenir de forma activa en la naturaleza. En términos generales: si queremos saber si A causa B, tenemos que comprobar si las variaciones en A (que son producidas por nosotros) provocan variaciones en B, y todo ello manteniendo los otros factores causales tan constantes como sea posible. La idea subyacente es que, como todas las otras causas están ocultas, las variaciones en B sólo pueden ser causadas por las variaciones en A. Para eso se precisa de un sistema “relativamente cerrado” que permita controlar posibles factores causales y aislar procesos en la naturaleza.



**ANEXO 3****ALGUNAS IDEAS SOBRE LA HERENCIA**

A mediados del siglo XIX, los conceptos de los ovistas y de los espermistas comenzaron a ceder frente a nuevas observaciones. Los hechos que pusieron en tela de juicio a estas primeras explicaciones provinieron, no tanto de experimentos científicos, sino de los intentos prácticos de los maestros jardineros para producir nuevas plantas ornamentales. Los cruzamientos artificiales de estas plantas mostraron que, en general, independientemente de qué planta suministrara el polen (que contiene las células espermáticas) y qué planta contribuyera con los gametos femeninos, ambas contribuían a las características de la nueva variedad. Pero esta conclusión suscitó cuestiones aún más enigmáticas: ¿con qué contribuía exactamente cada planta progenitora? ¿Cómo hacían todas las centenas de características de cada planta para combinarse y apiñarse en una sola semilla?

La hipótesis más ampliamente sostenida en el siglo XIX fue la de la herencia mezcladora. De acuerdo con este concepto, cuando se combinan los óvulos y los espermatozoides, se produce una mezcla de material hereditario que da por resultado una combinación semejante a la mezcla de dos tintas de diferentes colores. Según esta hipótesis, se podría predecir que la progenie de un animal negro y de uno blanco sería gris y que, a su vez, su progenie también lo sería, pues el material hereditario blanco y negro, una vez mezclado, nunca podría separarse de nuevo. Pero este concepto no era satisfactorio. Ignoraba el fenómeno de las características que saltan una generación, o aun varias generaciones, y luego reaparecen en algunos descendientes.

En segundo lugar, para Charles Darwin y otros defensores de la teoría de la evolución, el concepto presentaba dificultades particulares. Según Darwin, la evolución tiene lugar cuando la selección natural actúa sobre variaciones hereditarias existentes, o sea, variaciones que pueden ser heredadas. A falta de explicaciones alternativas, Charles Darwin (1809-1882) aceptaba la idea de herencia mezcladora. Si esta hipótesis fuera válida, las variaciones hereditarias desaparecerían, como se diluye una gota de tinta en una mezcla de muchos colores.

Tampoco se conocía cuál era el mecanismo involucrado en el origen de nueva variabilidad, de modo que Darwin recurrió a la idea de la herencia de los caracteres adquiridos, explicación que ya estaba cuestionada y pronto fue refutada.

En 1862, Charles Naudin (1815-1899) naturalista ayudante del Museo de Historia Natural, realizó varios cruzamientos y obtuvo los híbridos de la primera generación, todos semejantes entre sí. Luego, en la segunda generación, observó cambios. Sin embargo, la explicación de sus trabajos fue poco clara.

Aproximadamente en la misma época en que Darwin estaba escribiendo *El Origen de las Especies*, un monje austríaco, Gregor Mendel (1822-1884), iniciaba una serie de experimentos que llevaría a la comprensión del mecanismo de la herencia.

Mendel, que había nacido en una familia de campesinos en 1822, entró en un monasterio en Brünn (actualmente Brno, República Checa), en el que pudo recibir educación. Asistió a la Universidad de Viena durante dos años, donde estudió matemática y otras ciencias. Luego de fracasar en los exámenes para obtener el certificado de docencia al que aspiraba, se retiró al monasterio, en el que finalmente llegó a ser abad.

El trabajo de Mendel, llevado a cabo en un tranquilo jardín del monasterio e ignorado hasta después de su muerte, marca el comienzo de la genética moderna. Según algunos historiadores de la ciencia, la gran contribución de Mendel fue demostrar que las características heredadas se llevan en unidades aisladas que se reparten por separado –se redistribuyen– en cada generación. Estas unidades aisladas, que Mendel llamó *elemente*, son las que hoy conocemos como genes.

Para sus experimentos sobre herencia, Mendel escogió el guisante común, *Pisum sativum*, lo que resultó una muy buena elección. Las plantas se conseguían en el comercio, eran fáciles de cultivar y crecían con rapidez. Las distintas variedades de plantas tenían características cuyas variantes eran claramente diferentes y constituían líneas que se reproducían puras y reaparecían sin cambios de una generación a la siguiente. Como dijo Mendel en su trabajo original, “El valor y la utilidad de cualquier experimento dependen de la elección del material adecuado al propósito para el cual se lo usa”. La elección de Mendel de la planta de guisante para sus experimentos no fue original.

Sin embargo, su éxito en la formulación de los principios fundamentales de la herencia, en la que otros habían fracasado, se debió a su enfoque del problema. En primer lugar, sometió a prueba una hipótesis muy específica en una serie de experimentos lógicos. Planeó sus experimentos con cuidado e imaginación y eligió para su estudio solamente características hereditarias con variantes bien definidas y mensurables. En segundo lugar, no sólo estudió la progenie de la primera generación, sino también la de la segunda y de las subsiguientes. Tercero, y lo más importante, contó los descendientes y luego analizó los resultados matemáticamente. Aunque su matemática era simple, la idea de que un problema biológico se podía estudiar en forma cuantitativa fue sorprendentemente nueva. Finalmente, organizó los datos de tal manera que sus resultados se pudieran evaluar en forma simple y objetiva.

Los experimentos mismos fueron descritos con tanta claridad que pudieron ser repetidos y controlados por otros científicos. Mendel comunicó sus experimentos en 1865, ante un pequeño grupo de asistentes a una reunión de la Sociedad de Historia Natural de Brünn. Aparentemente, nadie comprendió el significado de sus resultados. Sin embargo, al año siguiente, su trabajo fue publicado en las Actas de la Sociedad, una revista que circulaba por las bibliotecas de toda Europa. A pesar de ello, fue ignorado durante 35 años, en la mayor parte de los cuales Mendel se dedicó a sus deberes de abad sin recibir reconocimiento científico alguno sino sólo después de su muerte. Era, para utilizar la frase de DuPraw “...un extraño viajero, cuyo relato no se ajustaba a nada conocido”.

**ANEXO 4****MATERIAL COMPLEMENTARIO DE LA UNIDAD 2****ÁTOMOS**

Toda la materia, incluyendo la de los organismos vivos más complejos, está constituida por combinaciones de elementos. En la Tierra existen unos 92 elementos. Muchos elementos son conocidos como el oxígeno del aire, el calcio de huesos y dientes y el hierro que es el metal responsable del color rojo de nuestra sangre. Los **elementos** son por definición, sustancias que no pueden ser desintegradas en otras sustancias por medios químicos ordinarios. La partícula más pequeña de un elemento es el **átomo**.

Cada átomo tiene en su núcleo, un número característico de partículas cargadas positivamente llamadas **protones**. Por ejemplo, un átomo de hidrógeno, el más liviano de los elementos, tiene un protón en su núcleo; el número de protones en el núcleo de un átomo cualquiera recibe el nombre de **número atómico**. Por lo tanto, el número atómico del hidrógeno es 1 y el del carbono es 6.

Fuera del núcleo del átomo, hay partículas cargadas negativamente, los **electrones**, que son atraídos por la carga positiva de los protones. El número de electrones de un átomo iguala al número de protones del núcleo. Los electrones determinan las propiedades químicas de los átomos y las reacciones químicas implican cambios en el número y el estado energético de estos electrones. Los electrones de un átomo tienen diferente cantidad de energía. Los electrones más próximos al núcleo tienen menos energía que los más alejados y de esta manera se encuentran en un nivel energético más bajo. Un electrón tiende a ocupar el nivel energético más bajo disponible pero con el ingreso de energía puede ser lanzado a un nivel energético más alto. Cuando el electrón regresa a un nivel energético más bajo, se libera energía.

Además, los átomos contienen **neutrones**, partículas sin carga y de aproximadamente el mismo peso que los protones. Los neutrones se encuentran en el núcleo donde parecen tener un efecto estabilizador.

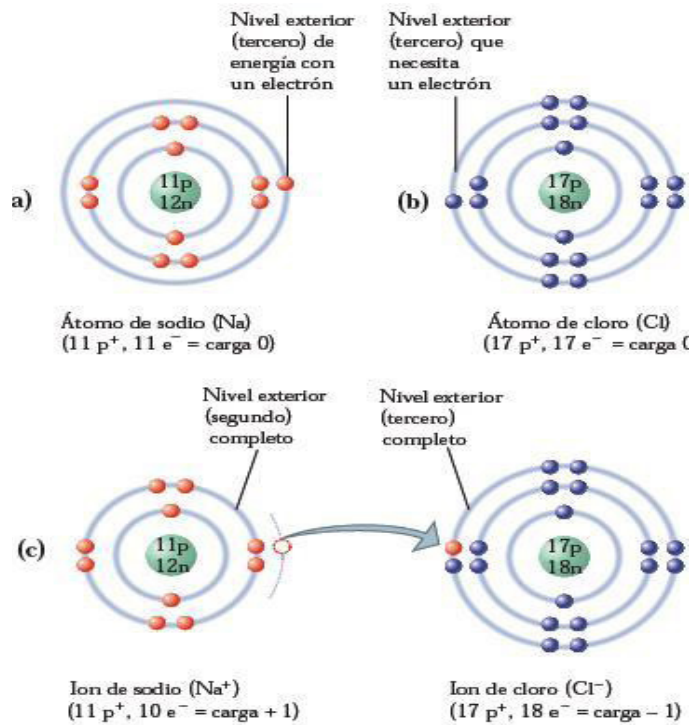
El **peso atómico** de un elemento es aproximadamente igual a la suma del número de protones más el número de neutrones. El peso atómico del carbono es, por convención, igual a 12, mientras que el del hidrógeno, que no contiene neutrones, es ligeramente mayor que 1. Los electrones son tan livianos que su peso habitualmente no se considera. Cuando nos pesamos, sólo aproximadamente 30 gramos del peso total está integrado por electrones.

**MOLÉCULAS Y ENLACES IÓNICOS Y COVALENTES**

Cuando los átomos entran en interacción mutua, de modo que se completan sus niveles energéticos exteriores, se forman partículas nuevas más grandes. Estas partículas constituidas por dos o más átomos se conocen como **moléculas** y las fuerzas que las mantienen unidas se conocen como **enlaces**. Hay dos tipos principales de enlaces: iónico y covalente.

Los **enlaces iónicos** se forman por la atracción mutua de partículas de carga eléctrica opuesta; esas partículas, formadas cuando un electrón salta de un átomo a otro, se conocen como **iones**. Para muchos átomos, la manera más simple de completar el nivel energético exterior

consiste en ganar o bien perder uno o dos electrones. Este es el caso de la interacción del sodio con el cloro que forma cloruro de sodio a través de un enlace iónico. Estos enlaces pueden ser bastante fuertes pero muchas sustancias iónicas se separan fácilmente en agua, produciendo iones libres.



a) El átomo de sodio (número atómico 11) tiene sólo un electrón en su nivel exterior. b) El átomo de cloro (número atómico 17), en contraste, necesita ganar un electrón para completar su nivel exterior de energía. c) Si un átomo de sodio se encuentra en las proximidades de un átomo de cloro, el electrón solitario del último nivel de energía del sodio salta hacia el nivel exterior del átomo de cloro, completando éste su capa de electrones. Al perder el sodio un electrón, el segundo nivel con los 8 electrones completos pasa a ser el nivel exterior. Así, ambos átomos tienen sus niveles más externos totalmente cubiertos y, consiguientemente, son más estables

que antes de producirse el salto del electrón. Sin embargo, ahora los átomos están cargados eléctricamente. El sodio tiene una carga de +1 y el cloro una carga de -1. Los átomos así cargados se conocen como iones. El átomo de cloro, al haber aceptado un electrón del sodio, ahora tiene un electrón más respecto al número de protones. Así, este átomo se transforma en un ion negativamente cargado, el cloruro: Cl<sup>-</sup>. Por el contrario, el ion sodio tiene un electrón menos que el número total de protones y queda positivamente cargado: Na<sup>+</sup>.

Los iones de carga positiva se denominan cationes y los de carga negativa, aniones. A raíz de sus cargas, los iones positivos y negativos se atraen entre sí. La sustancia resultante en este caso, el cloruro de sodio (NaCl), es la sal de mesa común.

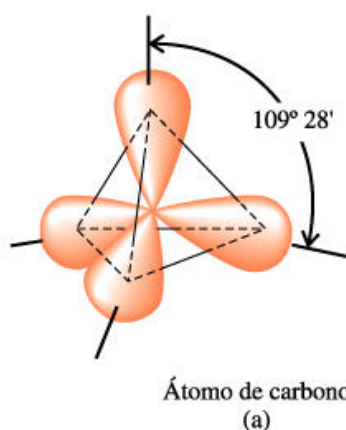
Muchos iones constituyen un porcentaje ínfimo del peso vivo, pero desempeñan papeles centrales. El ion potasio (K<sup>+</sup>) es el principal ion con carga positiva en la mayoría de los organismos, y en su presencia puede ocurrir la mayoría de los procesos biológicos esenciales. Los iones calcio (Ca<sup>2+</sup>), potasio (K<sup>+</sup>) y sodio (Na<sup>+</sup>) están implicados todos en la producción y propagación del impulso nervioso. Además, el Ca<sup>2+</sup> es necesario para la contracción de los músculos y para el mantenimiento de un latido cardíaco normal. El ion magnesio (Mg<sup>2+</sup>) forma parte de la molécula de clorofila, la cual atrapa la energía radiante del Sol en algunas algas y en las plantas verdes.

Los **enlaces covalentes** están formados por pares de electrones compartidos. Un átomo puede completar su nivel de energía exterior compartiendo electrones con otro átomo. En los enlaces covalentes, el par de electrones compartidos forma un orbital nuevo (llamado *orbital molecular*) que envuelve a los núcleos de ambos átomos. En un enlace de este tipo, cada electrón pasa parte de su tiempo alrededor de un núcleo y el resto alrededor del otro.

Así, al compartir los electrones, ambos completan su nivel de energía exterior y neutralizan la carga nuclear.

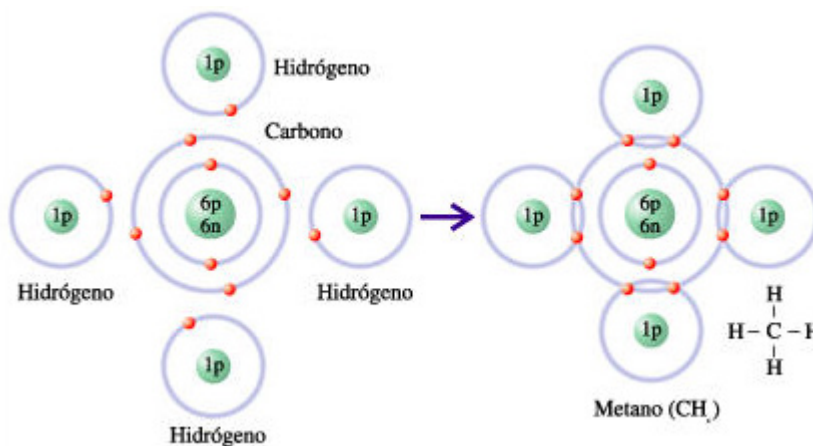
Los átomos que necesitan ganar electrones para tener un nivel energético exterior completo y por lo tanto estable, tienen una fuerte tendencia a formar enlaces covalentes. Así, por ejemplo, un átomo de hidrógeno forma un enlace covalente simple con otro átomo de hidrógeno. También puede formar un enlace covalente con cualquier otro átomo que necesite ganar un electrón para completar su nivel de energía exterior.

La capacidad de los átomos de carbono para formar enlaces covalentes es de extraordinaria importancia en los sistemas vivos. Un átomo de carbono tiene cuatro electrones en su nivel energético exterior. Puede compartir cada uno de estos electrones con otro átomo, formando enlaces covalentes hasta con cuatro átomos. Los enlaces covalentes formados por un átomo de carbono pueden hacerse con cuatro átomos diferentes (los más frecuentes son hidrógeno, oxígeno y nitrógeno) o con otros átomos de carbono.



Orbitales del átomo de carbono.

Cuando un átomo de carbono forma enlaces covalentes con otros cuatro átomos, los electrones de su nivel de energía exterior forman nuevos orbitales. Estos nuevos orbitales, todos con una misma configuración, se orientan hacia los cuatro vértices de un tetraedro. Así, los cuatro orbitales se encuentran separados tanto como es posible.

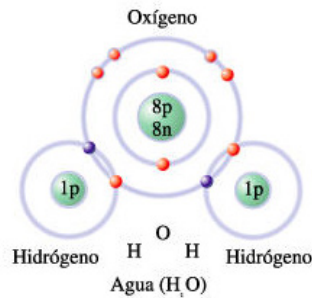


Reacción C-O.

Cuando un átomo de carbono reacciona con cuatro átomos de hidrógeno, cada uno de los electrones en su nivel de energía exterior forma un enlace covalente con el único electrón de un átomo de hidrógeno, produciéndose una molécula de metano.

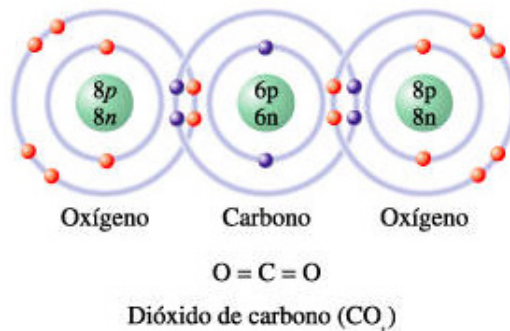
Los electrones que forman enlaces covalentes se mueven rápidamente formando orbitales complejos que engloban a los núcleos de hidrógeno y también al de carbono. Cada par de electrones se mueve en un orbital molecular nuevo.

Existen diferentes tipos de enlaces covalentes, entre ellos los **enlaces covalentes polares** y los enlaces **covalentes simple, dobles y triples**.



Dibujo esquemático de una molécula de agua (H<sub>2</sub>O).

Cada uno de los dos enlaces covalentes sencillos de esta molécula están formados por un electrón compartido del oxígeno y un electrón compartido del hidrógeno.



Esquema de la molécula de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

El átomo de carbono en el centro de la molécula participa con dos enlaces covalentes dobles, uno con cada átomo de oxígeno. Cada enlace doble está formado por dos pares de electrones compartidos por los dos átomos que participan en el enlace. En las fórmulas estructurales el enlace doble se representa por dos guiones paralelos: =.