



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO**  
FACULTAD DE CIENCIAS  
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES EN CIENCIAS BIOLÓGICAS, FÍSICAS Y  
MATEMÁTICAS

BIODIVERSIDAD EN ALGAS.  
ESTRATEGIAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA  
EN EL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES DE LA UNAM.

TESINA  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
ESPECIALISTA EN BIOLOGÍA PARA EL BACHILLERATO

PRESENTA:  
ELIZABETH KARINA GALVÁN SÁNCHEZ

DIRECTOR DE LA TESINA  
Dr. GERARDO RIVAS LECHUGA

Ciudad Universitaria, CD. MX. Junio, 2021.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Hoja de datos del jurado

### 1. Datos del alumno

Galván  
Sánchez  
Elizabeth Karina  
5531883416  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Especialización en Biología para el Bachillerato  
518013921

### 2. Datos del tutor

Dr  
Gerardo  
Rivas  
Lechuga

### 3. Datos del sinodal 1 (Presidente)

Dr  
Rogelio  
Aguilar  
Aguilar

### 4. Datos del sinodal 2 (Vocal)

Dra  
María Edith  
Ponce  
Márquez

### 5. Datos del sinodal 3 (Secretario)

Dr  
Gerardo  
Rivas  
Lechuga

### 6. Datos del trabajo escrito

Biodiversidad en algas. Estrategias para la enseñanza de la biología en el Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM.  
317 p  
2021

## Índice

<b>Resumen</b> .....	4
<b>Introducción</b> .....	5
Planteamiento del problema	
Justificación (importancia del conocimiento de las algas)	
Objeto de estudio	
Objetivos	
<b>Antecedentes</b> .....	8
Proyecto original del CCH (1971)	
Plan de Estudios Actualizado (PEA, 1996)	
Programa de Estudio (2017)	
<b>Marco de referencia</b> .....	19
Estudio de las algas	
Biodiversidad de algas	
<b>Método</b> .....	21
Selección de aprendizajes	
Formato para la elaboración de estrategias	
<b>Resultados</b> .....	24
<b>Discusión y conclusiones</b> .....	30
<b>Referencias bibliográficas</b>	
<b>Apéndice</b>	
1. Niveles de organización en algas	
2. Algas procariontas y eucariotas	
3. Membrana plasmática vs pared de las algas	
4. Flagelos algales	
5. Tipos de cloroplastos y mitocondrias de las algas	
6. Meiosis en algas: de gametofito al esporofito	
7. El papel de las algas en la endosimbiosis	
8. Complejidad en el concepto de especie: el caso de las algas	
9. Clasificación de las algas	
10. Expresión morfológica de las algas	
11. Interacciones en algas	
12. El papel de las algas en los niveles tróficos	
13. Biodiversidad de algas	

## Resumen

El Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) cuenta con un programa de estudio donde el Área de Ciencias Experimentales incluye las asignaturas obligatorias de Biología I y II, las cuales plantean temáticas y aprendizajes que generalmente se abordan manera aislada.

Ante este problema es de relevancia la integración de conocimientos. Para lo cual se propone relacionar, ejemplificar y cuestionar, los aprendizajes de las asignaturas de Biología I y II mediante las características de la biodiversidad de las algas.

Las algas es un taxón polifilético y dados los criterios que lo agrupan artificialmente es estratégico para la ruptura de paradigmas en cuanto al conocimiento y uso de la biodiversidad, son además un recurso no común en la enseñanza de la biología en el bachillerato como los son las plantas o los animales. La biodiversidad que representan las algas permite enlazar los aprendizajes. Cuyos aspectos biológicos son susceptibles de tratarse en la enseñanza de la biología en el CCH.

En este trabajo se utilizaron las cualidades de la diversidad biológica de las algas como medio didáctico estratégico en la enseñanza a nivel bachillerato de la biología. Bajo esta perspectiva de aprendizaje se consideró oportuno crear estrategias didácticas para el nivel medio superior basadas en la biodiversidad de las algas.

Se elaboraron un total de trece estrategias didácticas. Las correspondientes a la asignatura de Biología I abarcaron los siguientes temas: niveles de organización, estructuras de las células procariota y eucariota, la célula y su entorno, forma y movimiento, transformación de energía, y por último meiosis y gametogénesis. Las correspondientes a Biología II abordaron los temas: teoría de endosimbiosis, especie biológica, características generales de los dominios y los reinos, componentes bióticos y abióticos, relaciones intra-interespecíficas, niveles tróficos y flujo de energía, y finalmente el concepto de biodiversidad.

La biodiversidad de las algas como estrategia de aprendizaje en el bachillerato representa un análisis conceptual estratégico. En el presente trabajo se puede ver a las algas como un ejemplo de eje integrador en el desarrollo de aprendizajes, ya que además de ser considerado como un objeto de estudio en investigaciones científicas, son un componente importante de la biodiversidad de México.

## Introducción

La biodiversidad es un concepto acuñado en 1985 por Edward O. Wilson en el Foro Nacional sobre la Diversidad Biológica de Estados Unidos (CONABIO, 2019). Así mismo, Toledo en 1994, describe que el concepto surgió ligado a las instituciones académicas y a organismos nacionales e internacionales dedicados a la conservación biológica, y como un concepto sintético que incluye los enfoques de tres áreas científicas: la taxonomía, la ecología y la biogeografía.

En este trabajo se entiende la biodiversidad de las algas desde la comprensión misma de estos seres vivos. Las algas se reconocen por ser varios grupos de organismos fotoautótrofos, provistos de pigmentos de clorofila a, b y c (según el caso particular). Estos organismos se pueden diferenciar en diversos niveles de organización citológico (procariota y eucariota) y morfológico, que va desde unicelular, colonial, filamentoso, cenocítico, pseudoparenquimático y parenquimático. Presentando así, pseudotejidos y tejidos simples (parénquima) y poseen diversos materiales de reserva. Tienen una pared celular generalmente de celulosa, aunque algunas también presentan quitina, carbonato de calcio, sílice y otros compuestos. Su reproducción puede ser sexual y asexual con alternancia de generaciones en su ciclo de vida. Algunos tienen presencia de flagelos toda su vida o en diferentes estadios. Las algas provienen de diferentes orígenes y eventos evolutivos (como las llamadas primera, segunda y tercera endosimbiosis). Existe varias relaciones intra e interespecíficas donde las algas han sido protagónicas, como el caso de los líquenes (hongo y alga), los estromatolitos (bacteria y alga) y algunos tipos de parasitismo con otras algas e incluso con el humano. Es importante destacar el papel de las algas en el desarrollo de la vida misma y su capacidad fotosintética transformando la atmósfera primitiva para dar paso a condiciones que favorecen los tipos de vida que conocemos.

### Planteamiento del problema

El Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) cuenta con un programa de estudio destinado al Área de Ciencias experimentales, específicamente dirigido a la asignatura Biología I y II, donde se plantean temáticas y aprendizajes que generalmente se abordan manera aislada. Así mismo, en las estrategias y paquetes didácticos dirigidos a la enseñanza de este programa se toman unidades de conocimiento separadas.

### **Justificación (importancia del conocimiento de las algas)**

Ante este problema es de relevancia la integración de conocimientos. Para lo cual se propone relacionar, ejemplificar y cuestionar, los aprendizajes indicados mediante las características de la biodiversidad de las algas.

La biodiversidad es uno de los temas esenciales en la educación media superior, pero la biodiversidad que representan las algas permite enlazar los aprendizajes. Ya que, uno de los aspectos rescatables en la formación de los estudiantes es el reflexionar sobre la continuidad de los procesos y la eventual discretización o “rompimiento” que hacen las unidades de conocimiento.

Los cuestionamientos que se pueden generar de cada aprendizaje sobre las características de las algas refuerzan el plan de estudio del Área de Ciencias experimentales cuya orientación y sentido indica que se deberá girar en torno a la formulación de preguntas generadoras con la finalidad de que los estudiantes elaboren juicios críticos.

### **Objeto de estudio**

La importancia de estudiar la biodiversidad de las algas implica el panorama que se puede visualizar de los seres vivos, las particularidades de este grupo filogenético abren la concepción de la naturaleza. Ya que por mucho tiempo se tendió a generalizar el mundo vivo, sin tomar en cuenta sus particularidades, en relación al objeto de estudio de las algas González-González (1992) menciona que si se considera que no se pueden hacer generalizaciones de un gran grupo taxonómico a otro, entonces la selección de cualquier grupo implica una aproximación específica con un diseño metodológico particular.

En este trabajo se utilizaron las cualidades de diversidad biológica de las algas como medio didáctico estratégico en la enseñanza de la biología. Bajo esta perspectiva de aprendizaje se consideró oportuno crear estrategias didácticas para el nivel medio superior basadas en la biodiversidad de las algas. Destinadas a la enseñanza de la biología, para ayudar a la comprensión integral de la asignatura.

Dichas estrategias pueden cumplir su rol práctico y funcional con los estudiantes y profesores del nivel medio superior en apego al actual Programa de estudios, quedando abiertas a cualquier modificación.

## **Objetivos**

- Elaborar un conjunto de estrategias para la enseñanza de la biología en el bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México con base en la biodiversidad de las algas.
- Analizar conceptualmente algunos aspectos de las algas que permiten relacionar, ejemplificar y cuestionar diversos aprendizajes de las asignaturas de Biología I y II del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM.



## Antecedentes

### Proyecto original del CCH (1971)

El Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) fue fundado en 1971, promovido por Pablo González Casanova como primer rector. Una de las características que ha destacado al CCH es su Modelo Educativo, el cual ha pasado por diferentes modificaciones.

El proyecto de creación del CCH fue aprobado por el Consejo Universitario de la UNAM el 26 de enero de 1971. En ese mismo año se inauguraron Azcapotzalco, Naucalpan y Vallejo, y en 1972 abrieron sus puertas los planteles Oriente y Sur (Documenta, 1979).

De acuerdo a Fragosos Ruiz et al. (2007) el CCH representó un modelo alternativo de educación media superior que respondería a las exigencias de su tiempo:

- Ampliar la cobertura de educación media superior.
- Ser una opción que recogiera algunas de las propuestas educativas renovadoras imperantes en ese momento.
- Ofrecer una salida formativa a través de las opciones técnicas.

Estos tres factores dieron el carácter de original al CCH. La organización curricular (Fig. 1) del Modelo CCH proporcionaba una educación distinta a la tradicional, apoyada en la comunión entre lo científico y lo social-humanístico.

Las horas clase eran en promedio cuatro, complementadas con actividades de búsqueda de información, trabajo en equipo fuera del aula, asistencia a actividades culturales, científicas y académicas, y en general, desarrollo de trabajos extraescolares que favorecían el espíritu crítico, reflexivo e indagador del estudiante. Su propósito no era el de informar, sino, que los estudiantes “innovaran su conocimiento”.

La intención de los creadores del CCH era el de conformar un sistema educativo alterno a la estructura tradicional prevaleciente en la UNAM.

Sus objetivos eran:

- Establecer un mecanismo permanente de innovación de la Universidad capaz de realizar funciones distintas sin tener que cambiar necesaria e inmediatamente toda la estructura universitaria.

- Proporcionar nuevas oportunidades de estudio acordes con el desarrollo de las ciencias y las humanidades en el siglo XX y hacer flexibles los sistemas de enseñanza para formar especialistas y profesionistas que puedan adaptarse a un mundo cambiante en el terreno de la ciencia, la técnica, las estructuras sociales, culturales y económicas.

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES UNIDAD ACADÉMICA DEL CICLO DE BACHILLERATO PLAN DE ESTUDIOS ACADÉMICO Y REGLAS DE APLICACION											
PRIMER SEMESTRE	HS	SEGUNDO SEMESTRE	HS	TERCER SEMESTRE	HS	CUARTO SEMESTRE	HS	QUINTO SEMESTRE	HS	SEXTO SEMESTRE	HS
MATEMÁTICAS I	4	MATEMÁTICAS II	4	MATEMÁTICAS III	4	MATEMÁTICAS IV	4	MATEMÁTICAS V LÓGICA I ESTADÍSTICA I	4	MATEMÁTICAS VI LÓGICA II ESTADÍSTICA II	4
FÍSICA I	5	QUÍMICA I	5	BIOLOGÍA I	5	METODO EXPERIMENTAL: FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLOGÍA	5	FÍSICA II QUÍMICA II BIOLOGÍA II	5	FÍSICA III QUÍMICA III BIOLOGÍA III	5
HISTORIA UNIVERSAL, MODERNA Y CONTEMPORÁNEA	3	HISTORIA DE MÉXICO II	3	HISTORIA DE MÉXICO I	3	TEORÍA DE LA HISTORIA	3	ESTÉTICA I ÉTICA Y CONOCIMIENTO DEL HOMBRE I FILOSOFÍA I	3	ESTÉTICA II ÉTICA Y CONOCIMIENTO DEL HOMBRE II FILOSOFÍA II	3
TALLER DE REDACCIÓN I	3	TALLER DE REDACCIÓN II	3	TALLER DE REDACCIÓN E INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL I	3	TALLER DE REDACCIÓN E INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL II	3	ECONOMÍA I CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES I PSICOLOGÍA I DERECHO I ADMINISTRACIÓN I GEOGRAFÍA I GRIEGO I LATÍN I	3	ECONOMÍA II CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES II PSICOLOGÍA II DERECHO II ADMINISTRACIÓN II GEOGRAFÍA II GRIEGO II LATÍN II	3
TALLER DE LECTURA DE CLÁSICOS UNIVERSALES	3	TALLER DE LECTURA DE CLÁSICOS ESPAÑOLES E HISPANODIAMERICANOS	3	TALLER DE LECTURA DE AUTORES MODERNOS UNIVERSALES	3	TALLER DE LECTURA DE AUTORES MODERNOS ESPAÑOLES E HISPANOAMERICANOS	3	CIENCIAS DE LA SALUD I CIENETICA Y COMPUTACION I CIENCIA DE LA COMUNICACION I DISEÑO AMBIENTAL I TALLER DE EXPRESION GRAFICA I	3	CIENCIAS DE LA SALUD II CIENETICA Y COMPUTACION II CIENCIA DE LA COMUNICACION II DISEÑO AMBIENTAL II TALLER DE EXPRESION GRAFICA II	3
IDIOMA EXTRANJERO	3	IDIOMA EXTRANJERO	3	IDIOMA EXTRANJERO	3	IDIOMA EXTRANJERO	3				
SUMA TOTAL DE HORAS	20		20		20		20		20		20
OPCIONAL: ADIESTRAMIENTO PRACTICO PARA LA OBTENCION DEL DIPLOMA DE TECNICO, NIVEL BACHILLERATO											

Figura 1. Gaceta Amarilla. 1971. Mapa curricular Proyecto. UNAM. No. 2.

### Plan de Estudios Actualizado (PEA, 1996)

El interés por revisar y evaluar el Plan de Estudios del Colegio estuvo presente desde su propia creación. En 1987 la Comisión para el Diagnóstico de los Problemas del Bachillerato del Colegio, presentó al Rector de la UNAM un documento de trabajo donde se expresa la necesidad de formar grupos de profesores por área que evalúen el plan y los programas de estudio del Bachillerato del CCH (DGPL, 1993).

En 1989 se dio a conocer el *Programa para la Modernización Educativa 1989-94* (PME). Este programa establece una serie de lineamientos para la reforma de la educación en todos sus niveles considerando la evaluación como una acción prioritaria a instrumentar por el gobierno. Con la idea de evaluación, se inician una serie de revisiones, evaluaciones y cambios en los planes de estudio de todos los niveles educativos orientados por los preceptos generales de dicho programa.

De acuerdo al PEA, el plan anterior mostraba “tres deficiencias principales” que requerían “una atención urgente y radical”, éstas eran: las derivadas “del perfil real de los

alumnos que hoy estudian en el Colegio”; el desarrollo del conocimiento humano; y la desarticulación entre la práctica docente y los “postulados del Colegio”.

Fragosos Ruiz et al. (2007) consideran que con la modificación a diversas estructuras de currículum, como el plan de estudios, el Colegio dio un primer paso hacia la conformación de un sistema único de bachillerato en el país: empezó por unificar e institucionalizar los programas de las materias del plan de estudios.

El Plan de Estudios Actualizado del CCH (Fig. 2 y 3), modificación del original, entró en operación en el ciclo escolar 1996-1997. Las deficiencias identificadas se refieren a factores relacionados con la docencia, formación previa de los alumnos y su desempeño, la vigencia de contenidos disciplinarios y prácticas didácticas, organización curricular y gestión académico administrativa. Aunque la constante a lo largo del PEA es la preocupación por el aumento de horas clase y la convergencia hacia un bachillerato de cultura básica.

Lo que dio lugar a: el aumento de horas clase y la estructura formal; el plan de 1971 se ciñe a una lógica de organización y presentación que pretendía hacer comprensible la difusión de la propuesta curricular; en tanto que el PEA se ajusta a la norma universitaria para la elaboración y presentación de planes y programas de estudio.

El PEA menciona que el número de clases y la duración de las mismas que el nuevo plan proporciona, ofrecen al docente, una oportunidad para mejorar el aprendizaje de los alumnos; aportándoles conocimientos fundamentales, procedimientos de trabajo, ejercitaciones individuales y en equipo, además de contar con el tiempo para la supervisión y revisión.

La organización del plan de estudios por **áreas** se justifica por la interrelación existentes entre campos disciplinarios afines, su vinculación con la realidad y por el imperativo de converger en la formación de una cultura básica (PEA, 1996).

Bajo tal perspectiva, la asignatura de Biología pertenece al de Área de Ciencias Experimentales, cuya pretensión en la formación del alumno es la siguiente:

Área de Ciencias Experimentales. Después de una reflexión sobre el desarrollo de la ciencia y la tecnología y de subrayar su importancia en la formación del estudiante y en la multicitada cultura básica, el plan de estudios señala que la orientación y sentido de esta área gira en torno a la formulación de “preguntas generadoras del proceso de indagación en las que plantee una problemática específica, de interés para el estudiante, [quien] elaborará juicios críticos que sirvan de base para organizar el conocimiento y orientar la adquisición de

más información” (PEA, 1996). Concluyendo que en el Área de Ciencias Experimentales “el alumno aprende a aprender”.

El Área de Ciencias Experimentales contribuye en la formación del alumno al guiarlo hacia: la exploración y comprensión de los “procesos de la naturaleza que ocurren en el entorno y dentro de sí mismo”; la reflexión del vínculo que existe entre “las ciencias naturales con la vida humana y su contexto social”; la posesión “de conocimientos básicos de Química, Física y Biología que jerarquiza e integra en una visión de conjunto” (PEA, 1996).

**MAPA CURRICULAR DEL PLAN DE ESTUDIOS ACTUALIZADO**

Semestre	Asignatura	Horas	Créditos	Asignatura	Horas	Créditos	Asignatura	Horas	Créditos	Asignatura	Horas	Créditos	Asignatura	Horas	Créditos	TOTAL Horas	TOTAL Créditos
1 <sup>o</sup>	Asignatura	Matemáticas I: Álgebra y Geometría	4	3	Química I	5	10	Historia Universal Moderna y Contemporánea I	6	Taller de Lectura, Redacción e Iniciación a la Investigación Documental I	12	4	Lengua Extranjera I	4	8	28/24	55/48
	Horas	5	10	5	10	4	8	6	12	4	8						
2 <sup>o</sup>	Asignatura	Matemáticas II: Álgebra y Geometría	4	3	Química II	5	10	Historia Universal Moderna y Contemporánea II	4	Taller de Lectura, Redacción e Iniciación a la Investigación Documental II	12	4	Lengua Extranjera II	4	8	28/24	55/48
	Horas	5	10	5	10	4	8	4	12	4	8						
3 <sup>o</sup>	Asignatura	Matemáticas III: Álgebra y Geometría Analítica	5	10	Física I	5	10	Historia de México I	4	Taller de Lectura, Redacción e Iniciación a la Investigación Documental III	6	4	Lengua Extranjera III	4	8	29	56
	Horas	5	10	5	10	5	10	4	6	4	8						
4 <sup>o</sup>	Asignatura	Matemáticas IV: Álgebra y Geometría Analítica	5	10	Física II	5	10	Historia de México II	4	Taller de Lectura, Redacción e Iniciación a la Investigación Documental IV	6	4	Lengua Extranjera IV	4	8	29	56
	Horas	5	10	5	10	5	10	4	6	4	8						
5 <sup>o</sup>	Asignatura	Primer Opción Optativas: • Cálculo Integral y Diferencial I • Estadística y Probabilidad I • Informática y Computación I	4	8	Segunda Opción Optativas: • Biología III • Física III • Química III	4	8	Tercera Opción Obligatoria: Filosofía I 4 Optativa: • Temas Selectos de Filosofía I 8	Cuarta Opción Optativas: • Administración I • Antropología I • Ciencias de la Salud I • Ciencias Políticas y Sociales I • Derecho I • Economía I • Geografía I • Psicología I • Teorías de la Historia I	4	8	Quinta Opción Optativas: • Griego I • Latín I • Lectura y Análisis de Textos Literarios I • Taller de Comunicación I • Taller de Diseño Ambiental I • Taller de Expresión Gráfica I	4	8	28	56	
	Horas	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8						
6 <sup>o</sup>	Asignatura	• Cálculo Integral y Diferencial II • Estadística y Probabilidad II • Informática y Computación II	4	8	• Biología IV • Física IV • Química IV	4	8	Obligatoria: Filosofía II 4 Optativa: • Temas Selectos de Filosofía II 8	• Administración II • Antropología II • Ciencias de la Salud II • Ciencias Políticas y Sociales II • Derecho II • Economía II • Geografía II • Psicología II • Teorías de la Historia II	4	8	• Griego II • Latín II • Lectura y Análisis de Textos Literarios II • Taller de Comunicación II • Taller de Diseño Ambiental II • Taller de Expresión Gráfica II	4	8	28	56	
	Horas	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8						
* La mitad de los alumnos cursará la asignatura en el primer semestre; la otra, en el segundo. En quinto y sexto semestres los alumnos cursarán siete materias: Filosofía, una materia de las opciones primera o segunda y una más de las opciones cuarta o quinta o bien Temas Selectos de Filosofía.																TOTAL DE HORAS	168
																TOTAL DE CRÉDITOS	322

Figura 2. Mapa curricular del Plan de Estudios Actualizado (PEA, 1996).

### MAPA CURRICULAR DEL PLAN DE ESTUDIOS VIGENTE

Semestre	Asignatura Horas Créditos	MATEMÁTICAS I 4 8	FÍSICA I 5 10	HISTORIA UNIV. MOD. Y CONT. 3 6	TALL. RED. I 3 6	TALL. LEC. DE CLAS. UNIV. 2 4	**IDIOMA	Total Créditos
1	Asignatura Horas Créditos	MATEMÁTICAS II 4 8	QUÍMICA I 5 10	HISTORIA DE MÉXICO I 3 6	TALL. RED. II 3 6	TALL. LEC. CLAS. HISP. 2 4	IDIOMA	17/34
2	Asignatura Horas Créditos	MATEMÁTICAS III 4 8	BIOLOGÍA I 5 10	HISTORIA DE MÉXICO II 3 6	TALL. RED. INV. DOC. I 3 6	TALL. LEC. AUT. MOD. UNIV. 2 4	IDIOMA	17/34
3	Asignatura Horas Créditos	MATEMÁTICAS IV 4 8	MEY. EXP. FIS. QUÍM. BIOL. 5 10	TEORÍA DE LA HISTORIA 3 6	TALL. RED. INV. DOC. II 3 6	TALL. LEC. ESP. HISP. 2 4	IDIOMA	17/34
*5	Asignatura	1a. OPCIÓN » MATEMÁTICAS V » LÓGICA I » ESTADÍSTICA I	2a. OPCIÓN » FÍSICA II » QUÍMICA II » BIOLOGÍA II	3a. OPCIÓN » ESTÉTICA I » FILOSOFÍA I » ÉTICA Y CONOCIMIENTO DEL HOMBRE	4a. OPCIÓN » ECONOMÍA I » CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES I » PSICOLOGÍA I » DERECHO I » ADMINISTRACIÓN I » GEOGRAFÍA I » GRIEGO I » LATÍN I	5a. OPCIÓN » CIENCIAS DE LA SALUD I » CIBERNÉTICA Y COMPUTACIÓN I » CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN I » DISEÑO AMBIENTAL I » TALLER DE EXPRESIÓN GRÁFICA I		
	Horas Créditos	4 8	5 10	3 6	6 12	2 4		20 40
**6	Asignatura	» MATEMÁTICAS VI » LÓGICA II » ESTADÍSTICA II	» FÍSICA III » QUÍMICA III » BIOLOGÍA III	» ESTÉTICA II » FILOSOFÍA II » ÉTICA Y CONOCIMIENTO DEL HOMBRE II	» ECONOMÍA II » CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES II » PSICOLOGÍA II » DERECHO II » ADMINISTRACIÓN II » GEOGRAFÍA II » GRIEGO II » LATÍN II	» CIENCIAS DE LA SALUD II » CIBERNÉTICA Y COMPUTACIÓN II » CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN II » DISEÑO AMBIENTAL II » TALLER DE EXPRESIÓN GRÁFICA II		
	Horas Créditos	4 8	5 10	3 6	6 12	2 4		20 40

TOTAL HORAS 100  
TOTAL CRÉDITOS 216

\* ASIGNATURAS OPTATIVAS: SE ELIGE UNA EN LAS OPCIONES 1, 2, 3, 5; PARA LA OPCIÓN 4, SE ELIGEN DOS ASIGNATURAS.  
\*\* EL PLAN INCLUYE COMO REQUISITO ACREDITAR UN IDIOMA (INGLÉS O FRANCÉS) SIN VALOR EN CRÉDITOS.

Figura 3. Mapa curricular del Plan de Estudios Vigente (PEA, 1996).

Para comprender los cambios que se han dado sobre los aspectos: cultura básica (Cuadro 1), el papel del profesor (Cuadro 2) y el papel del estudiante (Cuadro 3) que guían los estudios de CCH, se presenta la comparación desde la visión de tres documentos que reflejan las ideas de su tiempo.

Cuadro 1. Concepción de Cultura básica en el CCH.

Concepción de la Cultura básica		
La Gaceta Amarilla 1971	Plan de Estudios Actualizado 1996	El Colegio de Ciencias y Humanidades Modelo y Prácticas 2001
<p>El plan de estudios que se propone desde este documento tiende a combatir el enciclopedismo y a proporcionar una preparación que hace énfasis en las materias básicas para la formación del estudiante; es, en aquellas materias que le permitan tener la vivencia y la experiencia del método experimental, del método histórico, de las matemáticas, del español, de una lengua extranjera, de una forma de expresión plástica. El plan hace énfasis en aquel tipo de cultura que consiste en aprender a dominar, a trabajar, a corregir el idioma nacional en los talleres de redacción; en aprender a aprender; a informarse en los talleres de investigación documental; así como en despertar la curiosidad por la lectura, y en aprender a leer y ha interesarse por el estudio de los grandes autores. Pero el plan está igualmente abierto a fomentar las especialidades y la cultura del especialista; incluye algunas especialidades del mundo contemporáneo que son de la mayor importancia, como la estadística y la cibernética.</p> <p>De manera puntual, "se propone contribuir a que el alumno adquiriera un conjunto de principios, de elementos productores de saber y de hacer, a través de cuya utilización pueda adquirir mayores y mejores saberes y prácticas", por lo que "hace énfasis en las materias básicas para la formación del estudiante" a saber, "las matemáticas, las ciencias experimentales, el análisis histórico social y la capacidad y hábito de lectura, así como el dominio de la lengua para la redacción de escritos y ensayos" (Modelo y prácticas, 2001).</p>	<p>Este documento recupera la concepción de cultura básica de la Gaceta Amarilla (1971), al mencionar que el Bachillerato del Colegio es un Bachillerato de cultura básica, que "hace énfasis en las materias básicas para la formación del estudiante", a saber, "las matemáticas, el método experimental... el énfasis histórico social ... (la) capacidad y el hábito de lectura de libros clásicos y modernos ... (el conocimiento del lenguaje para la redacción de escritos y ensayos..." y se propone contribuir a que el alumno adquiriera un conjunto de principios, de elementos productores de saber y de hacer, a través de cuya utilización pueda adquirir mayores y mejores saberes y prácticas.</p> <p>La aportación sobresaliente de este Plan de Estudios Actualizados, es el reconocimiento de que tales elementos son conocimientos, pero sobre todo habilidades de trabajo intelectual, generales y propias de los distintos campos del saber, así como aptitudes de reflexión sistemática, metódica y rigurosa, conocimientos y habilidades metodológicas y actitudes congruentes con todo ello.</p> <p>Lo anterior es reafirmado en el documento Modelo y prácticas 2001, donde se menciona que el Plan de Estudios Actualizado de 1996, hace la siguiente cita en tanto a la cultura básica: "el carácter universitario de nuestro Bachillerato se manifiesta en que el alumno sepa que sabe y por qué sabe, es decir en su capacidad de razón y de ciencia, de conciencia humana y humanista, que lo hacen capaz de dar cuenta de las razones y la validez de su conocimiento y de los procesos de aprendizaje a través de los cuales lo adquiere, así como responsable de las consecuencias sociales y personales de este saber".</p> <p>Así pues, considera que la cultura básica universitaria implica necesariamente una visión humanista de las ciencias, y particularmente de las ciencias de la naturaleza, y una visión científica de los problemas del hombre y la sociedad.</p> <p>Por último se resalta que la cultura básica tiene como componentes esenciales habilidades de trabajo intelectual para adquirir, y acopiar, ordenar y calificar información, la adquisición de las cuales depende de su ejercicio, a través de planteamiento y la resolución de problemas, la experimentación, la observación sistemática, la investigación en fuentes documentales, clásicas y modernas, la discusión.</p>	<p>En este documento, la cultura básica es mencionada como uno de los ejes organizativos del modelo educativo del CCH.</p> <p>De manera específica, se refiere al conjunto de principios, elementos productores de saber y hacer, cuya utilización permite adquirir mejores y más amplios saberes y prácticas. Esta cultura comprende competencias y habilidades y determina los aspectos capitales del Colegio, como el Plan de Estudios Actualizado, las formas de trabajo y el ambiente de la Institución.</p> <p>Es importante resaltar que la cultura básica, no es un principio de organización de naturaleza pedagógica, sino, que se trata más bien de una idea filosófica de cultura como apropiación personal de conocimientos, formas de trabajo académico e intelectual, valores y actitudes vigentes en nuestro tiempo. Ya que la cultura es extensa, sujeta a cambio continuo y compleja.</p>

Cuadro 2. El papel del profesor en el proceso enseñanza-aprendizaje en el CCH.

El papel del profesor en el proceso enseñanza-aprendizaje		
La Gaceta Amarilla 1971	Plan de Estudios Actualizado 1996	El Colegio de Ciencias y Humanidades Modelo y Prácticas 2001
<p>La metodología de la enseñanza hará énfasis en el ejercicio y la práctica de los conocimientos teóricos impartidos. En todos y en cada uno de los cursos se deberán utilizar no sólo libros de texto convencionales o programados, sino antologías de lecturas. Ante esto retomo el ejemplo específico de la asignatura de Biología, ya que es la que me compete como profesora: "En el curso de Biología o sólo se estudiará un texto de Biología sino una antología de ensayos o artículos destacados sobre la ciencias biológicas, la investigación básica en Biología, la investigación aplicada, que den una imagen viva de los que es esta disciplina el conocimiento humano y de sus múltiples y variadas posibles". En los laboratorios se hará que los estudiantes construyan algunos de los aparatos de observación y que los apliquen, sin que se limite al uso de los ya construidos, así como que discutan textos sobre la respectiva materia en forma de mesas redondas. De esta forma, se enseñará al alumno a revisar, corregir y perfeccionar un escrito mediante la elaboración de varias versiones del mismo. El profesor podrá darles a leer también algún libro o capítulo de introducción general a la cultura correspondiente a la época de los autores, pero siempre deberá hacerlos leer un mínimo de textos clásicos y modernos, llevándolos directamente a las fuentes.</p>	<p>El profesor cumple funciones de no dispensador, sino de guía del aprendizaje, es decir, responsable de proponer a los alumnos las experiencias de aprendizaje que les permitan, a través de la información y la reflexión rigurosa sistemática, no sólo adquirir nuevos conocimientos, sino tomar conciencia creciente de cómo proceder para continuar por su cuenta esta actividad. Tal función no debe prescindir de la autoridad académica que prestan al profesor su experiencia, sus habilidades intelectuales y sus conocimientos en determinados campos del saber, sin lo cual el papel académica y socialmente atribuido al mismo carece de sentido. Una de las características de este Plan de Estudios Actualizado es la introducción de una mayor número de horas de trabajo en grupo escolar y nuevas posibilidades de sesiones de dos horas, lo que cambia la organización de las clases por parte de los profesores, obligándolos a una redistribución de tareas en el trabajo de aprendizaje y enseñanza. En este Plan de Estudios se espera que el profesor enseñe a los alumnos conocimientos fundamentales y, sobre todo, procedimientos de trabajo que deben ejercitarse inicialmente en el aula. Así mismo, el profesor debe ofrecer a los alumnos una más amplia ejercitación, individual y en equipos, en las habilidades y procedimientos propuestos, supervisar su trabajo y revisar sus resultados. De manera puntual, el profesor debe respetar la condición fundamental del alumno como sujeto de la cultura y de su propia educación, bajo los siguientes enfoques pedagógicos: a) Formar e incrementar en el alumno actitudes como la propia del conocimientos científico ante la realidad, la curiosidad y el deseo de aprender, así como aptitudes para la reflexión metódica y rigurosa. b) Acentuar la participación y actividad del alumno, desarrollando la cultura básica considerada en este Modelo Educativo. c) Favorecer la libertad de opinión del alumno, de forma cada vez más exigente, así como fomentar, en el trabajo de grupo y en las distintas formas de producción personal, principalmente escrita, la crítica fundada de la validez de la información y de las aseveraciones que otros o el mismo alumno formula. De particular importancia en la formación de profesores serán las técnicas para el manejo de grupos numerosos, además de evitar los temarios injustificadamente largos, la indeseable extensión de éstos, ya que se tiende a suscitar en los profesores, la compulsión a cubrirlos exhaustivamente, lo que ha dado como resultado un tratamiento predominantemente informativo de los programas, el abandono de las formas de participación del alumno y la desatención a su formación en las habilidades, métodos y procedimientos de trabajo intelectual, inconvenientes graves que deben ser evitados por los profesores en adelante. Ante esto, cabe esperar fundadamente que los profesores irán creando las formas didácticas que permitan llevar a afecto el propósito de que el mayor número posible de los alumnos, sujetos de la cultura y de su educación, aprenda a aprender efectivamente.</p>	<p>Este modelo educativo establece los lineamientos institucionales para regular los procesos de aprendizaje y enseñanza y se concreta en tres niveles: el plan de estudios, los programas y proyectos para el desarrollo académico y las prácticas educativas de alumnos y profesores. Donde, se ve al profesor como orientador en el aprendizaje, ocupado en favorecer la autonomía de las habilidades del alumno en el aprendizaje y su capacidad de juicio crítico, dispuesto a aprender mientras enseña y a seguir aprendiendo. Cabe resaltar la importancia conjunta de la labor del profesor y el alumnado en el proceso de enseñanza aprendizaje.</p>

Cuadro 3. El papel del estudiante en el proceso enseñanza-aprendizaje en el CCH.

Papel del estudiante en el proceso enseñanza-aprendizaje		
La Gaceta Amarilla 1971	Plan de Estudios Actualizado 1996	El Colegio de Ciencias y Humanidades Modelo y Prácticas 2001
<p>Se ha pensado que la formación del estudiante del ciclo de Bachillerato en algunas disciplinas fundamentales -el método científico-experimental, el método histórico social, las matemáticas y el español- le proporcionen una educación básica que le permitirá aprovechar las alternativas profesionales o académicas clásicas y modernas. Se persigue el estudiante adquiera también el necesario adiestramiento que lo capacite para realizar ciertas actividades de carácter técnico y profesional que no exigen la licenciatura. Así, la formación de este nivel sería una síntesis de actividades propiamente académicas con un aprendizaje práctico.</p> <p>Los cursos optativos previstos conducen al estudio de las profesiones, en tanto que sus materias básicas permiten que el alumno adquiera una gran flexibilidad y pueda cambiar de vocación, de profesión, así como aprender a combinar profesiones distintas y a realizar actividades interdisciplinarias.</p> <p>Además, el estudiante con su dominio básico de las matemáticas, del método experimental, del análisis histórico-social, su capacidad y hábito de lectura de libros clásicos y modernos, su conocimiento del lenguaje para la redacción de escritos y ensayos, su capacidad de informarse para la elaboración de trabajos y de organizar el material en ficheros, cuadros, así como su posibilidad de leer y traducir un idioma extranjero, en particular el inglés o el francés, le permitirán, con probabilidades de éxito, seguir las carreras existentes o las interdisciplinarias que se creen, pues se buscará que al final de su formación sepa aprender, sepa informarse y estudiar sobre materias que aún ignora, recurriendo para ello a los libros, enciclopedias, periódicos, revistas, cursos extraordinarios que siga fuera de programa, sin pretender que la Unidad le de una cultura enciclopédica, sino los métodos y técnicas necesarios y el hábito de aplicarlos a problemas concretos y de adquirir nuevos conocimientos.</p> <p>El estudiante estará capacitado igualmente para desempeñar trabajos y puestos en la producción y los servicios por su capacidad de decisión, innovación, estudio y para la formación de la personalidad que implica el plan académico, pudiendo completar su cultura con otra técnica y aplicada, ya sea mientras sigue los cursos académicos del plan, ya una vez terminado el mismo.</p>	<p>El Bachillerato del Colegio concibe al alumno como sujeto de la cultura y no su mero receptor ni destinatario, por lo que éste no sólo debe comprender los conocimientos que se le ofrecen en la enseñanza, sino también juzgarlos, relacionarlos con su propia experiencia y realidad, adaptarlos, asimilarlos crítica y personalmente y, si fuera el caso, trascenderlos y reelaborarlos o sustituirlos por otros, mejor fundados e innovadores. El alumno del Colegio deberá saber y saber hacer, es decir, unirá conocimientos al dominio inicial de metodologías, procedimientos de trabajo intelectual, prácticas, tecnologías en un nivel general y técnicas.</p> <p>El alumno, por su parte, deberá continuar por su cuenta el ejercicio de los mismos procedimientos y habilidades y afrontar los procesos de indagación sistemática para la adquisición de información, entre otras responsabilidades, pero contará con mejores apoyos para su cumplimiento gracias al concurso del profesor y de sus compañeros en los trabajos previos en grupo escolar. Así, su trabajo personal, no deja de ser sustancial y fuente de autoformación y autonomía progresivas.</p> <p>Se busca específicamente un alumno crítico que apunte a la capacidad de juzgar a cerca de la validez de los conocimientos que se presentan a su examen, sin lo cual no puede concebirse la constitución de un sujeto de la cultura ni la posesión personal del conocimiento científico o de los valores legítimamente adoptados.</p> <p>Se espera de los alumnos, que, en un número de horas de trabajo personal igual al dedicado a las clases, adquieran y organicen información por su cuenta, ejercitando las habilidades a cuya posesión elemental han podido comenzar a acercarse. Su adquisición descansa entonces sobre el esfuerzo de propio alumno.</p>	<p>Papel del alumno en el proceso de enseñanza aprendizaje dentro de este modelo educativo es considerado como sujeto de la cultura y actor primero de su formación, capaz de aprender a aprender, a hacer y a ser, con sentido crítico, es decir, conciencia de las razones de su saber, de su actuar, de sus valores, así como de los límites de las mismas.</p>

### Programa de estudio (2017)

Los programas de estudios concretan de manera formal el proceso docente planteado en el Modelo educativo del CCH, en ellos se definen los sistemas, procedimientos, estrategias que se emplearan en la aplicación y desarrollo del currículo propuesto, al tiempo que contienen los criterios didácticos, así como las características y responsabilidades a las que deben responder los egresados. Un programa es susceptible de tener modificaciones acordes al proceso de enseñanza aprendizaje, es algo que se pretende lograr y que depende de las condiciones particulares en que se de este proceso (Fragosos Ruiz et al., 2017).

La presente propuesta de estrategias para la enseñanza de la Biología en base a la biodiversidad de algas, se enmarca en el Programa de Estudio 2017. Dicho programa cuenta con la asignatura de Biología I y II para el tercer y cuarto semestre respectivamente, las



cuales se encuentran en calidad de obligatorias. Así mismo, se tienen las asignaturas de biología III y IV dirigidas al tercer año del bachillerato y son optativas para los estudiantes.

Para el desarrollo de este trabajo se consideró el Programa de Estudio del Área de Ciencias Experimentales de Biología I y II, junto con los propósitos, el enfoque disciplinario, el enfoque didáctico y la contribución al perfil de egreso que ahí se enmarcan. Ante esto se ha destinado la elaboración de mapas conceptuales (Figs. 4, 5, 6 y 7) que permitan su explicación, los cuales se muestra a continuación.

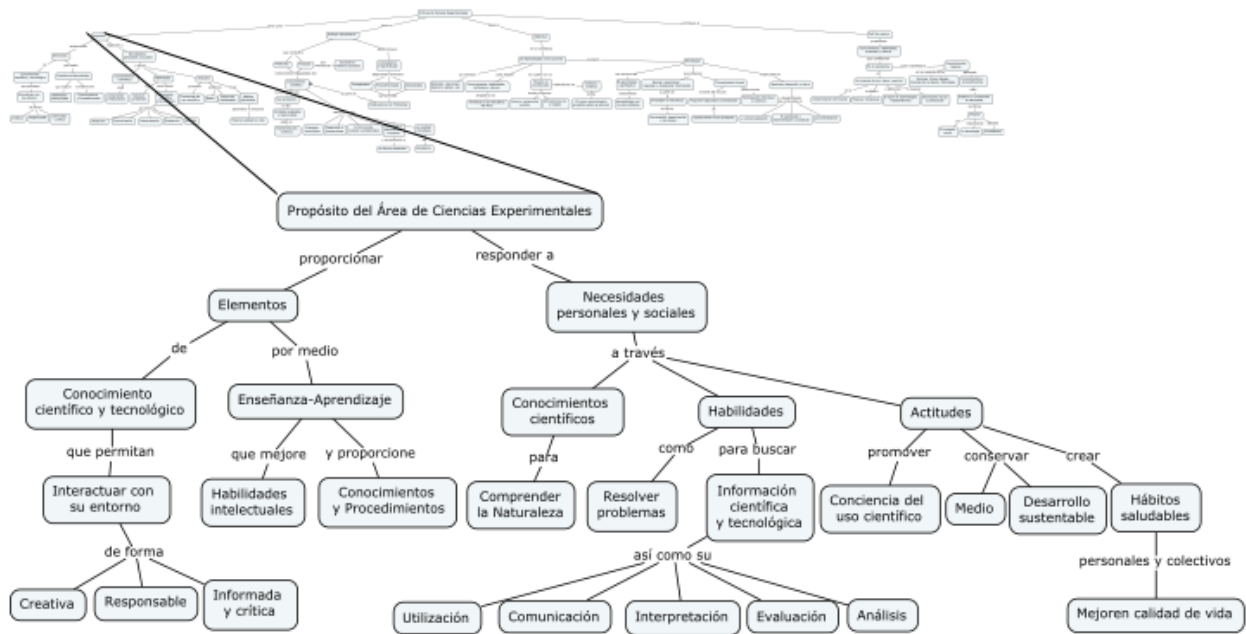


Figura 4. Propósito del Área de Ciencias Experimentales del CCH-UNAM.

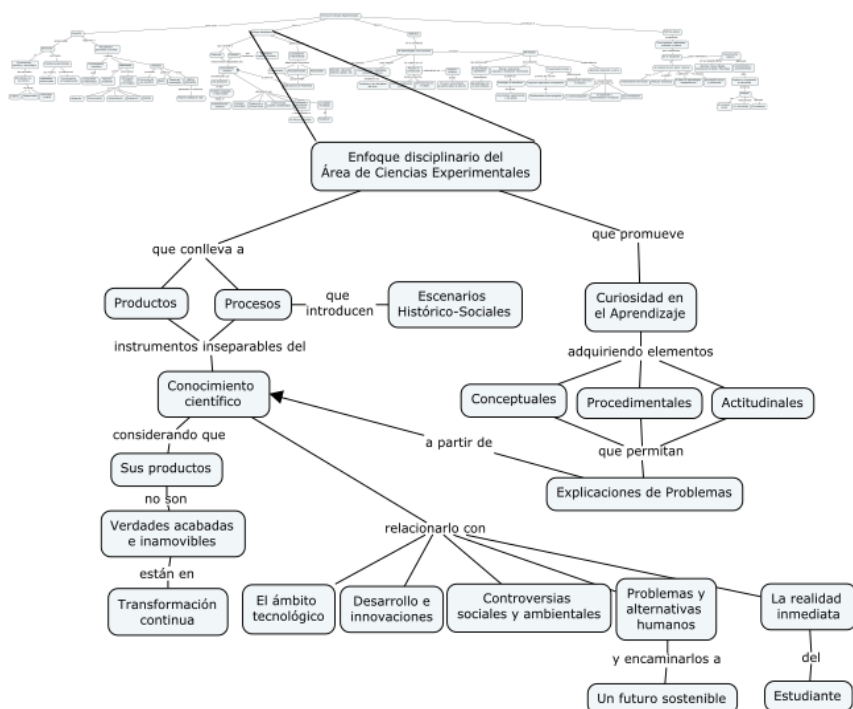


Figura 5. Enfoque disciplinario del Área de Ciencias Experimentales del CCH-UNAM.

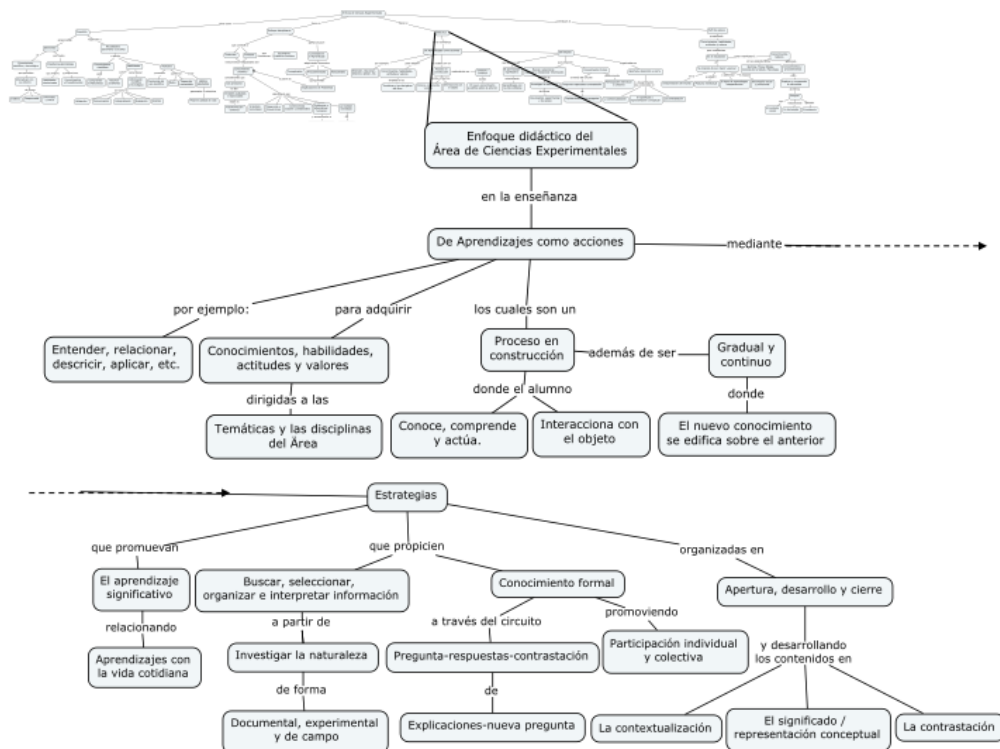


Figura 6. Enfoque didáctico del Área de Ciencias Experimentales CCH-UNAM.

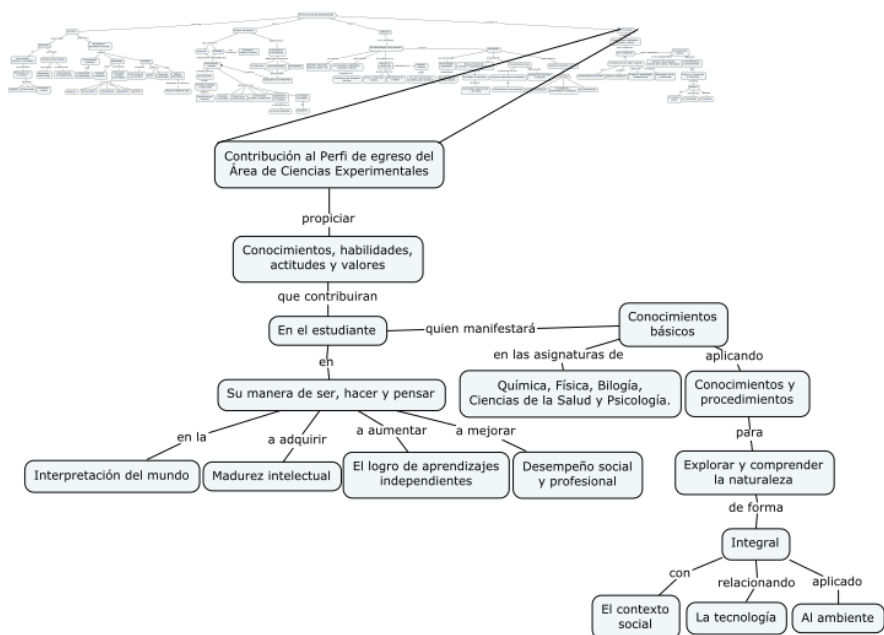


Figura 7. Contribución al perfil de egreso del Área de Ciencias Experimentales CCH-UNAM.

## Marco de referencia

### Estudio de las algas

El estudio de las algas ha representado una fuente de conocimientos y su visualización como recurso natural utilizable. En la época de los 90 eran considerados de los grupos de organismos menos trabajados y se señalaba que quiénes lo hacían se referían a ellos con información generalizada de otros grupos. De esta circunstancia se visualizaban consecuencias negativas, como a continuación se menciona:

“El que buena parte del desarrollo conceptual y metodológico de la biología se haya basado en los organismos superiores ha tenido dos consecuencias negativas: por un lado, que los que han trabajado en grupos inferiores, lo han hecho a través de generalizaciones, aplicando o adaptando conceptos tomados de la biología de organismos superiores, cuyas características y cualidades reales les son ajenas; y por otro, ha obstaculizado el surgimiento en cantidad y calidad de los aportes conceptuales y metodológicos con los que podrían haber enriquecido los estudios de organismos “inferiores” a la biología general” (González-González, 1992a).

Pero no solo las generalizaciones conceptuales y su freno a nuevos aportes sobre su conocimiento han hecho complejo el estudio de las algas; también su variabilidad de formas, tamaño (microscópicas y macroscópicas), estructura celular (unicelulares, pluricelulares), metabolismo (autótrofos, heterótrofos), composición química, ciclo de vida, hábitats, tipos de clorofila, etcétera. Dichas características están relacionadas con el resultado de sus diferentes eventos y orígenes evolutivos.

Las algas no evolucionaron a partir de un ancestro común y es por esto que no hay un conjunto de caracteres unificadores de todas ellas, es decir no hay un solo patrón estructural y funcional básico (González-González, 1992a).

De acuerdo con este mismo autor, lo que une a este grupos de organismos son sus similitudes morfológicas, fisiológicas y ecológicas, visto entonces como un grupo funcional relacionado fenogenéticamente (González-González, 1992). Al respecto Morrone (2010) menciona a los grupos polifiléticos, como aquellos que incluyen descendientes de ancestros distintos y se forman con base en paralelismos o convergencias. Así mismo, remarca que en el sistema filogenético, los únicos grupos que tiene cabida son los monofiléticos, ya que los parafiléticos y polifiléticos son artificiales.

De este modo, el grupo artificial, fenogenético y polifilético que representan las algas es ideal como objeto de estudio del presente trabajo. El tipo de variaciones en la expresión

de vida las algas abre un panorama contrastante en cualquier perspectiva de estudio. Sin embargo, ha tenido dos tipos de prioridades: elaboración de inventarios y líneas de investigación, que han pasado por diferentes ponderaciones de clasificación.

### **Biodiversidad en algas**

El concepto de biodiversidad aplicado a las algas comenzó a analizarse en la reunión internacional sobre biodiversidad celebrada en septiembre de 1994 durante la asamblea general de la unión internacional de ciencias biológicas de la UNESCO (Robledo, 1997).

La diversidad en este grupo se caracteriza por su composición pigmentaria, materiales de reserva, diferencias estructurales, forma de crecimiento, de alimentación, dependencia de la luz, su bioquímica, su fisiología, la organización de su material genético, diversidad ecológica, distribución en la biosfera, asociaciones con otros organismos, metabólicamente diversas por sus compuestos bioquímicos, plasticidad fenotípica, su relación con el cambio climático, usos que le da el ser humano y el valor económico, así como el aprovechamiento alimenticio y creación de productos, entre otras.

Y es tal el caso, que existen problemas para clasificar algunas algas. Pasando por diferentes clasificaciones como: el árbol de la vida según Haeckel (1866), los reinos de Whittaker (1969), de Margulis (1970), los dominios de Woese (1990), el árbol de la vida, de Keeling et al. (2009) y Filogenia de eucariotas, de Adl et al. (2012), entre otros.

El conocimiento de la biología de las algas resulta fundamental tanto para la ciencia básica como para la ecología. Hoy en día, la enseñanza de la biodiversidad se transmite formalmente a partir de la educación media superior, a través de la asignatura de Biología.

Donde se resalta a la biodiversidad como el resultado del proceso evolutivo que se manifiesta en la existencia de diferentes modos de ser para la vida a lo largo de toda la organización de los sistemas vivos (Portal académico, 2019).

Por lo cual es interesante conjugar este tema con un grupo de organismos que facilite las perspectivas de análisis de la biodiversidad misma, como las algas.

## Método

### Selección de aprendizajes

A partir del actual Programa de estudio del Área de ciencias Experimentales del Colegio de Ciencias y Humanidades del bachillerato de la Universidad Nacional Autónoma de México, se revisaron los aprendizajes de todas las unidades de las asignaturas de Biología I y II, y se seleccionaron algunos donde fue factible el desarrollo de estrategias didácticas que relacionan, ejemplifican y cuestionan a dichos aprendizajes con la biodiversidad de las algas.

De cada uno de los aprendizajes seleccionados se hizo una revisión en fuentes de información, bibliográfica, hemerográfica, electrónica y audiovisual, para recopilar recursos que ayudaran a la enseñanza del tema general, así como recursos que sostuvieron la relación del aprendizaje con la biodiversidad de algas. De acuerdo al tipo de información obtenida se fueron destinando las actividades tanto para el profesor como para los estudiantes.

### Formato para la elaboración de estrategias

El formato utilizado para la elaboración de las estrategias didácticas se siguió acorde al Modelo Educativo del Colegio (Fig. 8), las cuales están dirigidas a los profesores, dicha estructura incluye:

Un primer apartado de **datos generales**: nombre del profesor, nombre de la asignatura, semestre escolar, plantel y fecha de elaboración, como referencia.

En un segundo apartado se especifican los **datos del programa** correspondiente: unidad temática, propósito(s) de la unidad, aprendizaje(s) y tema(s). En este espacio se pueden ubicar los aprendizajes en el Programa de estudio y puntualizar aspectos particulares, como la diversidad de las algas en el caso del presente trabajo.

Se continúa con el desglose de la **secuencia**, indicando: tiempo didáctico, desarrollo de actividades, organización, materiales y recursos de apoyo, y evaluación. Para este apartado se tomaron en cuenta diferentes formas de trabajo: individual, en pares, equipos y grupales. Se consideraron actividades de inicio, de desarrollo y de cierre, tomando en cuenta investigaciones previas por parte de los estudiantes, actividades de laboratorio, plenarias, elaboración de cuadros comparativos, mapas conceptuales, presentaciones digitales y lectura de artículos, entre otros. Para todas las estrategias se consideró una evaluación continua de puntaje directo, tomando en cuenta la complejidad de las actividades planteadas.

Posteriormente se procede a puntualizar los datos de las **referencias de apoyo** utilizadas: de tal modo que se separa la bibliografía de consulta para los alumnos, de la bibliografía de consulta para el profesor. Además cuenta con un espacio para dirigir comentarios adicionales sobre la estrategia.

Por último, se considera un apartado de **anexos** donde se incluyen todos los textos, rúbricas e imágenes completos en apoyo a la estrategia. Este rubro es de suma importancia, ya que facilita los recursos a utilizar para llevar a cabo la estrategia y por lo regular es el más extenso.

Lo anterior hace factible que cualquier profesor interesado en aplicar las estrategias pueda hacerlo y adecuar cualquier aspecto que crea necesario. En la siguiente página se presenta el formato general para la elaboración de estrategias didácticas en el CCH.

Como especificación para su practicidad futura, en cada una de las estrategias, fue necesario puntualizar el contenido de las mismas desde su título. Tomando en cuenta: el nombre de la temática, tal como lo marca el Programa de estudio del Colegio y la transversalización con la Biodiversidad de algas (oración que resalta en cursivas). Por ejemplo, el título de la estrategia 9, se especifica de la siguiente manera:

Características generales de los dominios y los reinos. *Clasificación de las algas.*



## ESTRATEGIA DIDÁCTICA

*Nombre o título de la estrategia*



### I.DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Nombre del profesor
ASIGNATURA	Nombre de la Asignatura (por ejemplo "Biología I")
SEMESTRE ESCOLAR	Semestre escolar (por ejemplo "Tercer Semestre")
PLANTEL	Plantel de Adscripción
FECHA DE ELABORACIÓN	Fecha de elaboración de la estrategia (Por ejemplo "2 de agosto de 2010")

### II.PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Nombre de la unidad temática del programa.
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	Propósito(s) como se señala(n) en la unidad temática. (Se pueden distinguir los propósitos indicativos y luego los operativos)
APRENDIZAJE(S)	Aprendizajes que se desean lograr para cumplir con una parte del propósito de la unidad.(Se pueden distinguir los indicativos y operativos)
TEMA(S)	Contenido temático a tratar. (Se pueden distinguir los indicativos y operativos)

### III. ESTRATEGIA

Enunciado que explica para qué, cómo y con qué se logrará el objetivo o los objetivos de aprendizaje propuestos.

### IV.SECUENCIA

TIEMPO DIDÁCTICO	Tiempo necesario para el desarrollo de la actividad (en el aula y extraclase)
DESARROLLO Y ACTIVIDADES	Descripción del proceso y de las actividades que el profesor y el alumno llevan a cabo: Se señala el <b>Inicio</b> , <b>Desarrollo</b> , <b>Cierre</b> . Se deben de especificar los tiempos.
ORGANIZACIÓN	Forma en que se realizan las actividades: individual, por equipo, etc. Se especifica por ejemplo la forma en que se forman equipos Se señala el número de alumnos para los cuales está diseñada la estrategia.
MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO	Lista de materiales, equipos y fuentes de información necesarias para el desarrollo y actividades.
EVALUACIÓN	Forma en que se evalúan los aprendizajes de los alumnos.

### V. REFERENCIAS DE APOYO

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.	Referencias bibliográficas que apoyan a los alumnos. Se enumeran por separado los textos, las páginas internet, los videos. Pueden ser referencias para apoyar el contenido temático, pero también referencias de materiales de apoyo pedagógico-didáctico.  Formato APA <a href="http://www.dgbiblio.unam.mx/index.php/submenumain-01/170-como-elaborar-citas-y-referencias-bibliograficas-estilo-apa">http://www.dgbiblio.unam.mx/index.php/submenumain-01/170-como-elaborar-citas-y-referencias-bibliograficas-estilo-apa</a>
BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR	Referencias bibliográficas que apoyan a los profesores. Se enumeran por separado los textos, las páginas internet, los videos. Pueden ser referencias para apoyar el contenido temático, pero también referencias de materiales de apoyo pedagógico-didáctico.  Formato APA <a href="http://www.dgbiblio.unam.mx/index.php/submenumain-01/170-como-elaborar-citas-y-referencias-bibliograficas-estilo-apa">http://www.dgbiblio.unam.mx/index.php/submenumain-01/170-como-elaborar-citas-y-referencias-bibliograficas-estilo-apa</a>
COMENTARIOS ADICIONALES	Breves comentarios o aclaraciones.

### VI. ANEXOS

Se incluyen todos los textos, rúbricas e imágenes completos en apoyo a la estrategia.

Figura 8. Formato general para la elaboración de estrategias didácticas en el CCH UNAM.



## Resultados

A partir de la incorporación de la temática sobre la biodiversidad de las algas en los aprendizajes de las asignaturas de Biología de acuerdo al Programa de estudios 2017 del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM, se lograron conformar un total de 13 estrategias didácticas de las asignaturas obligatorias Biología I y Biología II, correspondientes al tercer y cuarto semestre. Dichas estrategias en extenso y con sus respectivos anexos se presentan al final en el apéndice.

Las estrategias para Biología I abarcaron los siguientes temas: Niveles de organización, Estructuras de las células procariota y eucariota, La célula y su entorno, Forma y movimiento, Transformación de energía, y por último Meiosis y gametogénesis.

Las correspondientes a Biología II abordaron los temas: Teoría de endosimbiosis, Especie biológica, Características generales de los dominios y los reinos, Componentes bióticos y abióticos, Relaciones intra-interespecíficas, Niveles tróficos y flujo de energía, y finalmente Concepto de biodiversidad.

El contenido de los cuadros 4 y 5, muestra los apartados de las unidades de cada asignatura. En la primera columna se puntualizan los subtemas como se indican en el Programa de estudio correspondiente. En la segunda columna se indica en letra cursiva el nombre que se le dio a la estrategia trabajada, haciendo alusión a la relación con la biodiversidad de las algas.

Cuadro 4. Temas seleccionados de Biología I para la elaboración de estrategias relacionadas con la biodiversidad de algas.

Unidad 1. ¿Por qué la biología es una ciencia y cuál es su objeto de estudio?	
<b>Tema 2. Objeto de estudio de la biología</b>	
Niveles de organización.	<i>Niveles de organización en algas.</i>
Unidad 2. ¿Cuál es la unidad estructural y funcional de los sistemas biológicos?	
<b>Tema 2. Estructura y función celular</b>	
Estructuras de las células procariota y eucariota.	<i>Algas procariotas y eucariotas.</i>
La célula y su entorno.	<i>Membrana plasmática vs pared celular de las algas.</i>

Forma y movimiento.	<i>Flagelos algales.</i>
Transformación de energía.	<i>Tipos de cloroplastos y mitocondrias de las algas.</i>
Unidad 3. ¿Cómo se transmiten los caracteres hereditarios y se modifica la información genética?	
<b>Tema 1. Reproducción</b>	
Meiosis y gametogénesis.	<i>Meiosis en algas: del gametofito al esporofito.</i>

Cuadro 5. Temas seleccionados de Biología II para la elaboración de estrategias relacionadas con la biodiversidad de algas.

Unidad 1. ¿Cómo se explica el origen, evolución y diversidad de los sistemas biológicos?	
<b>Tema 1. Origen de los sistemas biológicos</b>	
Teoría de endosimbiosis.	<i>El papel de las algas en la endosimbiosis.</i>
<b>Tema 2. Evolución biológica</b>	
Especie biológica.	<i>Complejidad en el concepto de especie: el caso de las algas.</i>
<b>Tema 3. Diversidad de los sistemas biológicos</b>	
Características generales de los dominios y los reinos.	<i>Clasificación de las algas.</i>
Unidad 2. ¿Cómo interactúan los sistemas biológicos con su ambiente y su relación con la conservación de la biodiversidad?	
<b>Tema 1. Estructura y procesos en el ecosistema</b>	
Componentes bióticos y abióticos.	<i>Expresión morfológica de las algas.</i>
Relaciones intra – interespecíficas.	<i>Interacciones en algas.</i>
Niveles tróficos y flujo de energía.	<i>El papel de las algas en niveles los tróficos.</i>
<b>Tema 2. Biodiversidad y conservación biológica</b>	
Concepto de biodiversidad.	<i>Biodiversidad de algas.</i>

## Descripción general de las estrategias

A continuación se presenta la descripción breve de cada una de las trece estrategias.

*Niveles de organización en algas.* Las actividades de esta estrategia buscan el aprendizaje y el reconocimiento de los niveles de organización de los seres vivos, por medio de actividades retroalimentativas, tanto individuales, grupales y en equipo, como: la búsqueda bibliográfica, ilustración de conceptos y una actividad de laboratorio representativa del tema, así como la resolución de diversos ejercicios donde se reflejen los conocimientos y habilidades adquiridas.

*Algas procariotas y eucariotas.* Las actividades de esta estrategia buscan el aprendizaje y el reconocimiento de las semejanzas y diferencias estructurales entre células procariotas y eucariotas, por medio actividades retroalimentativas, tanto individuales, grupales y en equipo, como: la indagación bibliográfica, esquemas comparativos y una actividad de laboratorio representativa del tema, así como ejercicios de examinación y clasificación de organismos de acuerdo a su tipo celular, como es el caso de las algas.

*Membrana plasmática vs pared celular de las algas.* La presente estrategia busca el reconocimiento y distinción de los componentes de la membrana celular, así como sus tipos de transporte y procesos de regulación. Además de destacar las diferencias entre la membrana celular y el ejemplo de la pared celular de las algas. Por medio actividades retroalimentativas: individuales, grupales y en equipo, como la búsqueda bibliográfica, esquemas representativos, representación de las funciones de la membrana celular y contrastación con la pared celular de las algas.

*Flagelos algales.* Las actividades de esta estrategia buscan que los estudiantes reconozcan las estructuras que dan forma y movimiento a las células como el citoesqueleto (filamentos de actina, microtúbulos y filamentos intermedios), los cilios y los flagelos. Lo anterior a través de actividades individuales, grupales y en equipo, como: investigación bibliográfica, elaboración de esquemas representativos, exposición, actividad de laboratorio enfocada a la observación de flagelos en algas y la presentación de sus resultados por medio de imágenes (*Chlamydomonas* y euglenoides).

*Tipos de cloroplastos y mitocondrias de las algas.* Las actividades de esta estrategia buscan la identificación de las características principales de la mitocondria y el cloroplasto, así como la descripción de sus funciones de transformación de energía (respiración celular y fotosíntesis), y como ejemplo los estudiantes reconocerán diferentes tipos de cloroplastos (tilacoides por banda y su relación con el retículo endoplásmico), mitocondrias (laminares y tubulares) y pigmentos (clorofilas a, b, c1, c2, ficobilisomas y fucoxantina).

*Meiosis en algas: del gametofito al esporofito.* Las actividades de esta estrategia están destinadas al reconocimiento del proceso de meiosis como parte de la reproducción sexual (espermatogénesis y ovogénesis), por medio de actividades como la investigación previa por parte de los estudiantes, la observación de videos del proceso celular, el contraste de esquemas comparativos, una actividad de laboratorio y la ejemplificación en el ejemplo del ciclo de vida de algunas algas destacando el paso de gametofito a esporofito.

*El papel de las algas en la endosimbiosis.* Con las actividades de la presente estrategia los estudiantes podrán reconocer la endosimbiosis como la explicación del origen de las células eucariotas y resaltar el papel de las cianobacterias en el proceso de origen de los cloroplastos. Para lograr el objetivo se proponen actividades de investigación previa, análisis de lecturas, actividad de laboratorio y como cierre elaborar una historieta de los eventos endosimbióticos que dieron lugar a las células eucariotas.

*Complejidad en el concepto de especie: el caso de las algas.* Las actividades de esta estrategia están encaminadas al reconocimiento de diferentes definiciones de especie biológica, distinguiendo la importancia de las especies en la diversidad biológica y así lograr la descripción de un concepto complejo de especie en el caso específico de las algas y la habilidad de extrapolar dicha definición a diferentes tipos de seres vivos. Lo anterior se logrará por medio de actividades retroalimentativas, tanto individuales, grupales y en equipo, como: la búsqueda bibliográfica, mapas conceptuales, cuadros comparativos, análisis de textos, elaboración de carteles representativos y reflexiones en plenaria, así como la resolución de ejercicios donde se reflejen los conocimientos y habilidades adquiridas.

*Clasificación de las algas.* La aplicación de esta estrategia permite a los estudiantes conocer los criterios que se han utilizado para clasificar a los sistemas biológicos en cinco reinos de Whittaker (1969) y tres dominios de Woese (1990). Además se podrán revisar propuestas actuales como la de Keeling et al. (2009), Adl et al. (2012) y Burki (2015). Como ejemplo y para integrar los conocimientos se propone hacer una guía de clasificación de algún tipo de alga, ya que estos organismos son de los más cambiados y debatidos en términos de clasificación por su diversidad biológica.

*Expresión morfológica de las algas.* La presente estrategia está diseñada para que los estudiantes identifiquen los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas, mediante diversas actividades como la investigación bibliográfica, el análisis de lecturas y algunos ejemplos donde podrán distinguir cómo estos aspectos influyen en los seres vivos, en especial en el caso de la expresión morfológica multidiferenciada de las algas.

*Interacciones en algas.* Esta estrategia de enseñanza está diseñada para identificar las relaciones intra-interespecíficas (mutualismo, parasitismo, competencia, depredación, etc.) que se pueden dar en los ecosistemas, mediante actividades de comparación de imágenes, lecturas de casos y ejemplos específicos sobre las algas, como el caso de los corales y los líquenes.

*El papel de las algas en los niveles tróficos.* Con las actividades de esta estrategia (investigación, traslape de redes ecosistémicas, actividad de laboratorio y ejercicios de aprendizaje) los estudiantes podrán reconocer el flujo de energía de los ecosistemas a través de los niveles tróficos y los ciclos biogeoquímicos. Además, podrán reconocer dichas características en la ecología de las algas en los ríos.

*Biodiversidad de algas.* Es importante que el estudiante identifique el concepto de biodiversidad y su importancia para la conservación biológica. Para lo cual está destinada esta estrategia, donde además se acercará a la biodiversidad de las algas. Lo cual logrará por medio de actividades de investigación, mapas conceptuales, collages, actividades de laboratorio y reflexión.

Con base en lo anterior se logró analizar y enlazar conceptualmente la biodiversidad de las algas con los aprendizajes de las asignaturas de Biología I y II que se ven en el nivel medio superior de la UNAM. Mediante los aspectos biológicos que hace el grupo biodiverso de las algas, se cuestionó, ejemplificó y reflexionó en el proceso de enseñanza de aprendizajes básicos propuestos para las asignaturas de Biología en el Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM.

## Discusión y conclusiones

El proyecto original del modelo educativo del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la UNAM hacía énfasis en que a partir de dos lenguajes: las matemáticas y el español y de dos aproximaciones metodológicas: la histórico-social y la científico-experimental se lograría una formación integral del alumno (Documenta, 1979) gracias al carácter interdisciplinario de la enseñanza en estas áreas y lo cual no necesariamente se conservó en la transformación del plan de estudios actual, donde a pesar de contar con más horas-clase se omitieron algunos núcleos temáticos básicos.

Particularmente la materia obligatoria de Biología I, que se impartía en el tercer semestre del primer plan de estudios del CCH comprendía cuatro núcleos conceptuales: Unidad, Diversidad, Continuidad y Cambio, y cuya conexión, brindaba el conocimiento esencial del alumno en el contexto su formación integral, incluso sin necesidad explícita de tomar los dos cursos posteriores semiobligatorios de Biología II y III. Esta interconexión entre los núcleos conceptuales básicos de la biología se omitió en cierta forma en el actual plan de estudios, por lo que es importante diseñar estrategias que le permitan al estudiante razonar en la relación de estos cuatro principios de la biología (unidad, diversidad, continuidad y cambio).

El término Biodiversidad incluye varios niveles de organización biológica, procesos ecológicos y evolutivos, además del reconocimiento de su composición, estructura y función, así como su significado cultural (Conabio, 2019). En este sentido la biodiversidad resulta una integración de aspectos biológicos susceptibles de tratarse en la enseñanza de la biología en el CCH, sobre todo por la oportunidad de abordar los procesos. Uno de los aspectos rescatables en la formación de los estudiantes es el reflexionar sobre la continuidad de los procesos y el eventual “rompimiento” que se hace en éstos para conformar unidades de estudio; lo que permite al estudiante desarrollar el carácter crítico que se planteó desde la formación del CCH.

Ante esto, las algas son un ejemplo de recursos alternativos, respecto a lo que el alumno promedio concibe tradicionalmente, es un taxón estratégico para la ruptura de paradigmas en cuanto al conocimiento y uso de la biodiversidad, son además un recurso no común en la enseñanza de la biología en el bachillerato como lo son las plantas o los animales. La diversidad misma alrededor de la biología de las algas es la que permite relacionar, ejemplificar y cuestionar los aprendizajes referentes a la biología.

La diversidad de las algas como estrategia de aprendizaje en el bachillerato pueden representar un análisis conceptual estratégico que permitan relacionar, ejemplificar y cuestionar diversos aprendizajes de los contenidos temáticos de las asignaturas de Biología I y II del actual plan de estudios del CCH de la UNAM. En el presente trabajo se puede ver a las algas como eje integrador en la educación, ya que comúnmente se han considerado como objeto de estudio en investigaciones científicas particulares o desde inventarios, pero no se han propuesto como recurso de enseñanza aprendizaje para el bachillerato, aunado a la Biodiversidad como tema fundamental en el aprendizaje de la Biología.

Por ejemplo los niveles de organización de los seres vivos es un elemento frecuente en la enseñanza de la biología. En este caso dichos niveles en las algas (unicelular, colonial, filamentosos, cenocítico, pseudoparenquimático y parenquimático) son un referente adecuado no solo para revisar los diferentes tipos morfológicos de las algas, sino también para contrastarlo con niveles de organización en otros grupos de organismos.

Cuando se habla de las semejanzas y diferencias estructurales entre células procariotas y eucariotas se cree que va ligado a lo unicelular y pluricelular respectivamente. No obstante, las algas son un buen ejemplo que ayuda a no limitarse a tal aseveración. El ejemplo de las cianofíceas como eucariotas unicelulares es claro para que los estudiantes aprecien estas características. Además una perspectiva diferente al reconocer el núcleo euglenoide de tipo mesocariótico.

En el caso del aprendizaje que busca que los estudiantes describan los componentes de la membrana celular, se propone contrastar con los componentes de las paredes celulares de las algas, particularmente: cyanobacteria, Rhodophyta, Chlorophyta y phaeophyceae. Indagar en este variado ejemplo da cuenta de cómo los componentes de dichas estructuras (incluyendo mucilagos) les confiere propiedades diferentes a las algas, lo cual que pueden ser más gráfico para los estudiantes.

Hablar de los componentes celulares que proporcionan forma y movimiento, es identificar estructuras como el citoesqueleto, cilios y flagelos. Lo más común en el bachillerato es observar el flagelo de eucariotas en gametos masculinos o bien cilios en protozoos. De tal forma sólo se asimila un tipo de flagelo. Ante este panorama las algas pueden presentar variadas estructuras de locomoción ya que como indican Dreckmann et al. (2013) las algas, con excepción de las algas verde azules y las algas rojas, presentan en algún momento de su ciclo de vida estructuras de locomoción denominadas flagelos. En las algas, estos órganos varían tanto en número como en forma, sin embargo, típicamente



presentan dos flagelos o múltiples de dos, que pueden ser isocontos, anisocontos o heterocontos; algunas especies, presentan solamente un flagelo por célula, y otras, presentan múltiples flagelos organizados a manera de corona en el ápice de las células, arreglo que se denomina estefenaconto.

El reconocimiento de la mitocondria y el cloroplasto como los principales organelos encargados de la transformación de energía, conlleva a pensar que se trata del mismo tipo de organelos en todos los seres vivos, por lo que se considera importante resaltar en los estudiantes el ejemplo de diferentes tipos de cloroplastos -por el tipo de pigmento (clorofila a, b, c1 o c2, ficobilisomas y fucoxantina), así como, tilacoides por banda y su relación con el retículo endoplasmático- y diferentes tipos de mitocondrias -laminares y tubulares- en organismos algales.

Con los estudiantes también se aborda la existencia de organismos con algún tipo de reproducción ya sea sexual o asexual y si se profundiza un poco se explica que un mismo organismo puede contar con ambos tipos de reproducción en alguna variante. De acuerdo con Lee (2008) las algas pueden reproducirse ambas vías, la asexual y la sexual en donde podemos observar oogamia, isogamia o anisogamia. El proceso de alternancia entre reproducción sexual y asexual o entre fases somáticas y fases nucleares de un organismo, se denomina ciclo de vida. En las algas se pueden diferenciar tres tipos de ciclo de vida, que de acuerdo al sitio donde ocurre la meiosis, se denominan cigótico, gamético o esporico. También, dependiendo del número de fases adultas de vida libre que participen en el ciclo de vida, se denominan monofásicos, difásicos y trifásicos. La carga genética, o número cromosómico, que presentan las fases adultas, también juegan un papel en la nomenclatura de los ciclos de vida, estas pueden ser haploides ( $n$ ) o diploides ( $2n$ ). Bajo estos conceptos y dependiendo de la predominancia genética, se denominan: a) ciclo de vida cigótico (haplobióntico haploide), b) ciclo de vida gamético (haplobióntico diploide) y c) ciclo de vida esporico o alternancia de generaciones (diplobióntico haplo-diploide). En la mayoría de algas rojas, el ciclo de vida esporofítico, presenta una segunda fase esporica parásita del gametofito (carposporofito), por lo que se denomina ciclo de vida esporico trifásico.

La endosimbiosis como explicación del origen de las células eucariotas en el bachillerato, es de suma importancia resaltar el papel de las cianobacterias en el proceso de origen de los cloroplastos, ya que los antepasados de éstos podrían ser los mismos de las cianobacterias actuales, de tal modo que las algas son imprescindibles en la explicación de tipos de vida como los que conocemos actualmente. Lo anterior complementa lo que

usualmente se revisa para la materia de Biología II con base en las teorías de la endosimbiosis.

El estudiante es capaz de reconocer algún concepto de especie y con la asesoría de sus profesores extender la cantidad de definiciones, pero el objetivo de ello es encaminar al bachiller para distinguir la importancia de las especies en la diversidad biológica. Una alternativa para abordar dicha discusión es el concepto complejo de especie en las algas que propone González-González (1994), el cual permite visualizar y entender a la especie como punto de partida para interrelacionar otros aspectos de la biología.

La propuesta de González-González (1992a y 1994) respecto al concepto de especie es su composición de elementos que implica al individuo como un proceso ontogenético, donde tienen lugar todas las funciones vitales de la entidad (metabolismo), con sus cualidades de identidad, en la manutención de los caracteres de un patrón estructural y funcional básico (unidad) y alteridad (cambio), que se expresa como manifestación diferencial generacional del potencial genético (variación) en el organismo y la capacidad de respuesta al medio (adaptación) con su expresión genotípica diferencial histórica en la población, que se mantiene a través del tiempo en el conjunto de la especie por la reproducción (continuidad) y posibilita el establecimiento de relaciones filogenéticas, entre los diferentes patrones estructurales y funcionales existentes (diversidad).

Otro de los aspectos que marca el programa de estudios es conocer los criterios que se han utilizado para clasificar a los sistemas biológicos en los cinco reinos de Whittaker (1969) y los tres dominios de Woese (1990). Sin embargo, es por demás necesario revisar propuestas actuales como la de Keeling et al. (2009), Ald et al. (2012) y Burki (2015) ya que organismos como las algas son de los más debatidos en términos de clasificación por su diversidad biológica.

Las algas representan un grupo funcional contra grupo natural e incluso en cierta perspectiva éstas podrían ser de inicio un mal ejemplo ya que en la literatura aparecen como un taxón “normal”, sin embargo, aquí entra el reto de pasar de la información “estática” a la discusión, debate y confrontación para que además el estudiante se sensibilice en aras de lograr un consenso, conciliar sobre algo que en cierto sentido es subjetivo. Las algas suelen ser ubicadas como plantas o como protistas, enseñar este tipo de información como vigente es preocupante, pero también representa una oportunidad en el bachillerato para ampliar la información y reconsiderar los criterios de clasificación, es decir que el analizar la taxonomía (ubicación) de las algas, involucra una perspectiva histórica. El reconocer a las algas como

un grupo polifilético involucra entonces repasar y considerar los conceptos de convergencia y de divergencia (González-González, 1994).

El reconocimiento de los componentes bióticos y abióticos, así como su interrelación ayuda a identificar distintos ecosistemas, así mismo, la influencia de los aspectos abióticos es tan crucial que en especial en el caso de las algas influye en su expresión morfológica. Por lo que, el análisis de casos reales es la estrategia que se ha encontrado más ilustrativa para ejemplificar la expresión morfológica y su diversidad de respuesta en relación factores bióticos y abióticos.

El conocimiento de las relaciones intra e interespecíficas (mutualismo, parasitismo, competencia, depredación, etc.) que se pueden dar en distintos ecosistemas, es posible mediante actividades de comparación de imágenes, lecturas y ejemplos específicos sobre las algas como corales, líquenes o el caso de algas parásitas que pueden afectar incluso al ser humano, lo cual puede generar aún más interés en el estudiante por sentirse allegado.

No es sencillo para los estudiantes reconocer el flujo de energía de los ecosistemas a través de los niveles tróficos y los ciclos biogeoquímicos, por el traslape de redes ecosistémicas. En este caso, los ejemplos y las actividades de laboratorio son buenos auxiliares, es específico se propone realizar observaciones de heterocistes y relacionarlo con la fijación del nitrógeno y su papel en los ciclos biogeoquímicos y el flujo de energía. Además, podrán reconocer un ejemplo de los ciclos de nutrientes en los ecosistemas lóticos y el papel de las algas bénticas.

La biodiversidad como resultado complejo del proceso de evolución hace imprescindible su conservación, este es uno de los últimos aprendizajes que el estudiante tiene la oportunidad de abordar en la asignatura de Biología II, donde puede identificar el concepto de biodiversidad y su importancia para la conservación biológica. En específico se plantea acercarse a este concepto con el caso de las algas, tomando en cuenta no solo su diversidad en formas de crecimiento, de alimentación de dependencia o no de la luz solar, sino hasta de sus diferencias bioquímicas y fisiológicas, así como también por la organización de su material genético y diversidad ecológica (Robledo, 1997).

Diversos aspectos como los actuales efectos ambientales, por ejemplo por los llamados “blooms”, las alternativas alimenticias tanto para el humano como para el ganado así como diversos usos farmacológicos son otros de los tópicos de aplicación que puede proveer el estudio de la biodiversidad de las algas, permitiendo así complementar el proceso de relacionar, ejemplificar y cuestionar la propuesta de abordar la biodiversidad de las algas

con aprendizajes de las asignaturas obligatorias Biología I y II del actual plan de estudios del bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM.

Es importante mencionar que el conjunto de las estrategias que se presentan en este trabajo no es con la intención que se apliquen todas en un sólo curso sino que el docente que consulte la tesina pueda seleccionar una o algunas de ellas y así relacionar, ejemplificar y cuestionar desde la perspectiva de la biodiversidad de las algas algunos de los aprendizajes de las asignaturas de Biología I y II.

## Referencias bibliográficas

(se incluye también la citada en las estrategias didácticas del apéndice)

Adl, S. M., Simpson, A. G. B., Lane, C. E., Lukes, J., Bass, D., Bowser, S. S., Brown, M. W., Burki, F., Dunthorn, M., Hampl, V., Heiss, A., Hoppenrath, M., Lara, E., Gall, L. L., Lynn, D. H., Mcmanus, H., Mitchell, E. A. D., Mozley-Stanridge, S. E., Parfrey, L. W., Pawlowski, J., Rueckert, S., Shadwick L., Schoch, C. L., Smirnov, A., y Spiegel, F. W. (2012). The revised classification of Eukaryotes. *The Journal Eukaryotic Microbiology*, 59(5), 429-514.

Aguñiga Sanchez. I., Alvarado Domínguez M. C., Ávila Ortiz A. G., Bautista Reyes C., Castillo Chaires I., Díaz Martínez S., Espitia Licea R., Hernández Anaya L., Hernández Muñoz M. A., Jiménez Encarnación M. E., Longares Méndez D. A., Luna Vásquez A., Niño de Rivera Oyarzabal M. del C., Ramos Velázquez J. R., Rivera Martínez A. R., Roldán Reyes E., Saito Quezada V. M., Soriano Martínez A. M., Zapata Cruz A. 2020. Laboratorio de Investigación Formativa II. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad De Estudios Superiores Zaragoza. México.

Angulo, R., Galindo, U., Avendaño P. y Pérez A. (2012). *Biología celular*. Primera edición. Universidad Autónoma de Sinaloa. Dirección general de escuelas preparatorias: México. Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES). (1991). El Bachillerato Universitario y sus Conceptos Básicos. Grupo Regional de Evaluación Curricular del Bachillerato Universitario. Red Zona Centro. *Revista de la Educación Superior*, 1(77), 1-8. Recuperado en octubre, 2020 de: <http://publicaciones.anuies.mx/revista/77>

Boegue, K. y Val, E. (2011). Bichos vemos relaciones no sabemos. Diversidad e importancia de las interacciones bióticas. *Ciencias*, 102, 5-11.

Bojorge-García, M. G. y Cantoral U. E. A. (2016). La importancia ecológica de las algas en los ríos. *Hidrobiológica*, 26(1), 1-8.

Brachhold, A. (2019). Partes de la célula eucariota. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <https://www.partesdel.com/wp-content/uploads/partes-de-la-celula-eucariota.jpg>

Brachhold, A. (2019). Partes de la célula procariota. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <https://www.partesdel.com/wp-content/uploads/partes-de-la-celula-procariota.jpg>

Burkholder, J.M., Azanza, R.V. y Sako, Y. (2006). The Ecology of Major Harmful Algae Groups. En Granéli, E. y Turner, J. T. (Eds.), *Ecology of Harmful Algae* (pp. 61-63). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Burki, F. (2014). The Eukaryotic Tree of Life from a Global Phylogenomic Perspective. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 6, 1-17.

Campbell, N. A. y Reece, J. B. (2008). *Biology*. Pearson. San Francisco, CA. 8th ed. p.1151-1159.

Carmona, J. J., Hernández M. M. A., y Ramírez V. M. (2004). *Algas. Glosario ilustrado*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. México.

Collado Vides, L. y Braga, M. R. A. (1996). Crecimiento y forma de las algas marinas. *Ciencias*, 42, 20-25.

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad -CONABIO-. (2009). ¿Qué es la biodiversidad?. México. Recuperado en agosto, 2019 de:  
[https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/que\\_es.html](https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/que_es.html)

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad -CONABIO-. (2009). ¿Por qué conservar?. México. Recuperado en agosto, 2019 de:  
[https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque\\_conserva.html](https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque_conserva.html)

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad -CONABIO-. (2019). ¿Qué es la biodiversidad?. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Recuperado en Febrero, 2020 de:  
[https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/que\\_es](https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/que_es)

Coutiño, B. y Montañez, A. L. (2000). Los líquenes. *Ciencias*, 59, 64-65.

Diéguez-Uribeondo, J. y García-Valdecasas, A. (2011). ¿Qué queremos decir cuando hablamos de Biodiversidad?. *Biodiversidad. El mosaico de la vida*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. p. 20-28. Recuperado en Marzo, 2020 de:  
<https://digital.csic.es/handle/10261/80452>

Dirección General de Planeación (DGPL). Memoria UNAM (1993). México, UNAM. Recuperado el 20 de diciembre, 2006 de:  
<http://www.planeacion.unam.mx/memoria/anteriores/1993/cch.htm>

Documenta. (1979). Secretaría de Divulgación del Colegio de Ciencias y Humanidades Gaceta. Universidad Nacional Autónoma de México. México. No. 1.103 p.

Dreckmann, K. M., Sentíes, A. y Nuñez, M. L. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio. Biología de Algas*. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa: México.

Fragosos Ruiz, V.(coordinadora), Montealegre Avelino M. G., Ibarra Mercado A. y Jardón Flores E. C. (2007). *El modelo de CCH. Apuntes para su estudio. Libro para la formación de profesores 1*. Área de Talleres de Lenguaje y Comunicación. Colegio de Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Gaceta Amarilla. (1971). Se creó el Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México, 2, 1-8.

Galicia-García, C. (2015). Algas... ¿parásitas?. *Cymbella*, 1(3), 21-28.

Gilg, I. (2012). Revisión de Adl, et al. The revised classification of eukaryotes. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 59(5), 429-514. Recuperado en Marzo, 2019 de: <https://ncma.bigelow.org/tree-of-life-search>

González-González, J. (1992a). Flora ficológica de México: concepciones y estrategias para la integración de una flora ficológica nacional. *Ciencias*, No. Especial 6, 13-33.

González-González, J. (1992b). *Estudio florístico ecológico de ambientes y comunidades algales del litoral rocoso del Pacífico Tropical Mexicano*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

González-González, J. (1994). Las algas: sistemática de un grupo filofénético. En Llorente Bousquets, J. & Luna Vega, I. (Comps). *Taxonomía Biológica* pp. 299-332. Ediciones Científicas Universitarias: serie texto científico universitario. UNAM-Fondo de Cultura Económica. México.

Haeckel, E. (1866). *Generelle Morphologie der Organismen: allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von C. Darwin reformirte Decendenz-Theorie*. Berlin. Recuperado en Julio, 2019 de: <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/3953#/summary>

Hagen, J. B. (2012). Five Kingdoms, More or Less: Robert Whittaker and the Broad Classification of Organisms. *BioScience*, 62(1). Recuperado en Julio, 2019 de: <https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/62/1/67/295711>

Herrera, T. y Ulloa, M. (1990). *Parmelia imbricatula*. Acuarela a color. Acervo Histórico de la Biblioteca del Instituto de Biología, UNAM. En Herrera, T. y Ulloa, M. *El reino de los hongos: micología básica y aplicada*. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México, D. F., p.353.

Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Tecnología. (2020). Protocolo A. Observación e identificación de microalgas y cianobacterias. Recuperado en Marzo, 2020 de: <https://inbiotec-conicet.gob.ar/wp-content/uploads/2017/11/PROTOCOLO-A-Identificacion-de-algas.pdf>

Introducción a la Botánica. (2017). Algas 01. Introducción y generalidades Cyanobacteria. Acheoplastidia. Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires. Recuperado en julio, 2019 de: <http://www.dbbe.fcen.uba.ar/contenido/objetos/Teoricaalgasbota769nica201901Introcyanoctro.pdf>

Jiménez, L. P. (Coord.) (2011). *Biología*. Enciclopedia de Conocimientos fundamentales. Universidad Nacional Autónoma de México. Siglo XXI. Vol. 4. p. 347-350 y p. 361-371.

Keeling, P. J. (2013). The Number, Speed, and Impact of Plastid Endosymbioses in Eukaryotic Evolution. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 583-607.

Keeling, P. J., Burger, G., Durnford, D. G., Lang, B. F., Lee, R. W., Pearlman, R. E., Roger, A. J., y Gray, M.W. (2005). The tree of eukaryotes. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(12), 670-676.

Keeling, P. J., Leander, B. S. y Simpson, A. (2009). The Tree of Life Web Project. Recuperado en Julio, 2019 de: <http://tolweb.org/Eukaryotes/3/2009.10.28>

Lane, C. E y Archibald, J. M. (2008). The eukaryotic tree of life: endosymbiosis takes its TOL. *Trends in Ecology and Evolution*, 23(5), 268-275.

Lee, R. E. (2008). *Phycology*. Cambridge University Press, New York.

León Álvarez, D. y Núñez Reséndiz, M. L. (2012). *Géneros de algas marinas tropicales de México: II. Algas pardas*. Las prensas de las ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

León Álvarez, D., Candelaria, S. C., Hernández, A. P. y León, T. H. (2012). *Géneros de algas marinas tropicales de México: I Algas verdes*. Las prensas de las ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

León Álvarez, D., López, G. N. A., Ponce, M. M. E., Núñez, R. M. L., Candelaria, S. C., Cruz, R. A. y Rodríguez, V. D. (2017). *Géneros de algas marinas tropicales de México: Algas rojas*. Las prensas de las ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

López de Olmos, Y. S. (2009). El destronamiento del Reino. Recuperado en Julio, 2019 de: [http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/288\\_cienciorama.pdf](http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/288_cienciorama.pdf)

Margulis, L. (1970). Whittaker's five kingdoms of organisms: minor revisions suggested by considerations of the origin of mitosis. *Evolution*, 25(1), 242-245.

Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista UDO Agrícola*, 4(1), 1-20. [McGraw-Hill Animations](#). (2017). Video Meiosis [3D Animation], Publicado el 4 jun. 2017. Recuperado en julio, 2019 de: <https://www.youtube.com/watch?v=c5hA0WCv1Iq>

Megías, M., Molist, P. y Pombal M. A. (2015). Atlas de histología vegetal y animal. La célula. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo: España. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <http://webs.uvigo.es/mmegias/inicio.html>

Megías, M., Molist, P. y Pombal M. A. (2017). Atlas de histología vegetal y animal. La célula. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo: España. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/atlas-celula-01-introduccion.pdf>

Monroy, A. (2019). Atacan las cianobacterias. El país, viajes. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <http://viajes.elpais.com.uy/2015/03/25/atacan-las-cianobacterias/>

Morrone, J. J. (2010). *El lenguaje de la cladística*. Facultad de Ciencias, UNAM, México.



Murray, W. N. (2005). Algas. En Murray, W. N. *Introducción a la botánica* (pp. 435-456). Pearson Educación, S. A., Madrid.

Oñate, O. L. (2010). *Biología I con enfoque en competencias*. Cengage Learning Editores: México.

Plan de Estudios Actualizado (PEA). (1996). Unidad Académica del Ciclo de Bachillerato. Secretaría de Divulgación de la Coordinación del Colegio de Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 150 p.

Portal académico. (2019). Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado en Septiembre, 2019 de:  
<http://portalacademico.cch.unam.mx>

Presentación. Factores bióticos. Laboratorio de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 100. Recuperado en Julio, 2019 de:  
[http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB\\_ECOLOGIA/Ecologia\\_y\\_evolucion\\_files/IV%20factores%20bioticos.pdf](http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB_ECOLOGIA/Ecologia_y_evolucion_files/IV%20factores%20bioticos.pdf)

Programa de Estudio. (2017). Área de Ciencias Experimentales: Biología I - II. 2017. Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 32 p.

Riosmena-Rodríguez, R. (2001). Mantos de rodolitos en el golfo de California: implicaciones en la biodiversidad y el manejo de la zona costera. *Biodiversitas*, 36, 12-14.

Robledo, D. (1997). Las algas y la biodiversidad. *Biodiversitas*, 13, 1-4.

Romagnoli, M. G. (2015). Tipos morfológicos de algas. Recuperado el 04 julio, 2019 de:  
<https://www.youtube.com/watch?v=S1nHUZI3NIU>

Ruíz, Z. M. A., Hernández, A. H. y Jorgensen, P. (2008). Relaciones arrecifales: idilios y desventuras ecológicas. *Ecofronteras. De nuestro pozo. Universidad Nacional Autónoma de México*. México. 34, 6-9. Recuperado en Marzo, 2020 de:  
<http://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/777/772>

Selosse, M. A. y Loiseaux-de Goër, S. (1997). *Mundo científico*, 179, 436-441. Recuperado el 19 de julio, 2019 de: <https://sites.google.com/site/origendelavidaenlatierra/origen-de-los-eucariontes>

Toledo, V. M. (1994). La diversidad biológica de México. Nuevos retos para la investigación en los noventas. *Ciencias*, 34, 43-57.

UNAM-DGTIC. (2019). Fases de división celular y gametogénesis. Recuperado en julio, 2019 de: <http://www.objetos.unam.mx/biologia/reproduccionCelular/index.html>

UNAM-DGTIC. (2019). Videos de Meiosis (Profase temprana I, Profase tardía prometafase I, Metafase I, Anafase I y Telofase I) Apoyo Académico para la educación media superior. Recuperado en julio, 2019 de: <http://www.objetos.unam.mx/biologia/reproduccionCelular/index.html>

Valencia, A. S. (1991). El problema de la especie. *Ciencias*, 24, 12-22.

Whittaker, R. H. (1969). New concepts of kindoms or organisms. Evolutionary relations are better represented by new classifications tan by the traditional two kingdoms. *Science*, 163, 150-194.

Woese, C. R. y Fox, G. E. (1977). Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 74 (11), 5088-5090.

Woese, C., Kandler, O., y Wheelis, M. (1990). Towards a Natural System of Organisms: Proposal for the Domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 87(12), 4576-4579.

Zepeda, G. C. (2015). Algas y Briofitas. Algas verde azules. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de ciencias. México. Presentación PPT. Recuperado en julio, 2019 de: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/32132/secme-18510.pdf?sequence=1>

## APÉNDICE



## Estrategias para la asignatura de Biología I



# ESTRATEGIA DIDÁCTICA 1

Niveles de organización. *Niveles de organización en algas.*

### I. DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología I
SEMESTRE ESCOLAR	Tercer Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

### II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 1. ¿Por qué la biología es una ciencia y cuál es su objeto de estudio?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo</b> Al finalizar, el alumno: Reconocerá que la biología es una ciencia en constante desarrollo, a través del estudio de los sistemas biológicos para que le permitan comprender su dinámica y cambio.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos</b> El alumno: Identifica los niveles de organización de los sistemas biológicos. <b>Aprendizajes operativos</b> 1. Define “nivel de organización”. 2. Identifica los niveles de organización en los sistemas biológicos (general). 3. Distingue los niveles de organización en algas.
TEMA(S)	Tema 2. Objeto de estudio de la biología ● Niveles de organización.

### III. ESTRATEGIA

Las actividades de esta estrategia buscan el aprendizaje y el reconocimiento de los niveles de organización de los seres vivos, por medio de actividades retroalimentativas, tanto individuales, grupales y en equipo, como: la búsqueda bibliográfica, ilustración de conceptos y una actividad de laboratorio representativa del tema, así como la resolución de diversos ejercicios donde se reflejen los conocimientos y habilidades adquiridas.

#### IV. SECUENCIA

<b>TIEMPO DIDÁCTICO</b>	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
<b>DESARROLLO Y ACTIVIDADES</b>	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)</p> <p>Los estudiantes investigarán bibliográficamente definiciones de nivel de organización y ejemplos al respecto. Cuyos hallazgos serán registrados en sus cuadernos para compartirlos en clase.</p> <p>De apertura (1 hora)</p> <p>En clase y de manera grupal se elaborará un cuadro comparativo de conceptos y ejemplos sobre niveles de organización (anexo 1) en el pizarrón con los resultados obtenidos de la investigación bibliográfica de los estudiantes.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Se formarán parejas para compartir la lectura: Niveles de organización (anexo 2) en un tiempo aproximado de 10 minutos, posteriormente identificarán los seis niveles propuestos por la autora, los cuales ejemplificarán con recortes de periódico, revistas, impresiones, etc., en el formato propuesto (anexo 3). Al finalizar compartirán su trabajo con los resultados de otra pareja.</p> <p>A continuación se formarán equipos de 4 personas, los cuales ilustrarán con dibujos el esquema de conceptos: Tipos morfológicos de algas (anexo 5), de acuerdo a la lectura: Niveles de organización en algas (anexo 4) y al video: Tipos morfológicos de algas, en <a href="https://www.youtube.com/watch?v=S1nHUZI3NIU">https://www.youtube.com/watch?v=S1nHUZI3NIU</a>.</p> <p>Se recomienda utilizar un papel bond para extender el espacio de trabajo. Una vez concluido se recomienda pegar los trabajos alrededor del aula para que todos los equipos tengan la oportunidad de conocer los aportes del resto del grupo. Para terminar la sesión es importante que el profesor guíe una reflexión grupal de acuerdo a los resultados presentados por los estudiantes.</p> <p>(2 horas)</p> <p>Realizar la actividad de laboratorio: Algas verde azules (niveles de organización), de acuerdo al anexo 6.</p> <p><b>Actividades de cierre:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Para reconocer los conocimientos y habilidades adquiridas del tema, los estudiantes resolverán ejercicios propuestos por el profesor, los cuales se</p>

	recomienda resolver de manera individual.
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b>	<p>Recursos bibliográficos y/o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Aula-laboratorio de trabajo. Pizarrón y gises de colores o pintarrón y marcadores. Lápices de colores. Papel bond. Recortes de periódico, revistas, impresiones, etc. Pegamento. Tijeras. Equipo de proyección de video.</p> <p>Anexo 1. Cuadro comparativo: Conceptos y ejemplos sobre niveles de organización.</p> <p>Anexo 2. Lectura: Niveles de organización.</p> <p>Anexo 3. Formato: Ilustración de niveles de organización.</p> <p>Anexo 4. Lectura: Niveles de organización en algas.</p> <p>Anexo 5. Esquema de conceptos: Tipos morfológicos de algas.</p> <p>Anexo 6. Actividad de laboratorio: Algas verde azules (niveles de organización).</p> <p>Ejercicios de conocimientos y habilidades adquiridas del tema consideradas por el profesor.</p>
<b>EVALUACIÓN</b>	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se sumarán puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b></p> <p>Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto</p> <p>Actividad de inicio (apertura): cuadro comparativo grupal.....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b></p> <p>Primera actividad de desarrollo: dibujos individuales.....2 puntos</p> <p>Segunda actividad de desarrollo: actividad de laboratorio por equipo..... 3 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b></p> <p>Actividad de cierre: ejercicios de conocimiento individual.....3 puntos</p> <p>La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.</p>

## V. REFERENCIAS DE APOYO

<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA LOS</b>	<p>Oñate, O. L. (2010). <i>Con enfoque en competencias</i>. Biología I. Cengage Learning Editores: México.</p> <p>Romagnoli, M. G. (2015). Tipos morfológicos de algas. Recuperado el 04 julio, 2019 de:</p>
--	--

<b>ALUMNOS.</b>	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=S1nHUZI3NIU">https://www.youtube.com/watch?v=S1nHUZI3NIU</a>
<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR</b>	Dreckmann, K. M., Senties, A. y Nuñez, M. L. (2013). <i>Manual de prácticas de laboratorio. Biología de Algas.</i> Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa: México.
<b>COMENTARIOS ADICIONALES</b>	<p>Se pueden incorporar otras lecturas referentes al tema en la actividad de desarrollo, según el criterio del docente.</p> <p>Es importante estimular la participación de los estudiantes sin dejar de lado el enfoque temático.</p> <p>Se puede apoyar la primera actividad de desarrollo con ejemplos ilustrativos.</p> <p>Los ejercicios de cierre pueden adecuarse según el tipo de grupo con el que se esté trabajando.</p> <p>Es responsabilidad del docente conocer la bibliografía recomendada para los estudiantes.</p>

## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Cuadro comparativo: Conceptos y ejemplos sobre niveles de organización.

**Anexo 2.** Lectura: Niveles de organización.

**Anexo 3.** Formato: Ilustración de niveles de organización.

**Anexo 4.** Lectura: Niveles de organización en algas.

**Anexo 5.** Esquema de conceptos: Tipos morfológicos de algas.

**Anexo 6.** Actividad de laboratorio: Algas verde azules (niveles de organización).

**Anexo 1.** Cuadro comparativo: Conceptos y ejemplos sobre niveles de organización.

### Niveles de organización de los sistemas biológicos

Niveles de organización de los sistemas biológicos	
Concepto	Ejemplo (imagen/texto)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	



## **Anexo 2.** Lectura: Niveles de organización.

### **Niveles de organización <sup>1</sup>**

Oñate (2010)

Los seres vivos presentan diferentes grados de complejidad que se pueden visualizar desde varios niveles de organización, como se expone a continuación:

**Nivel químico.** Los seres vivos están constituidos por moléculas formadas en su mayoría por átomos de hidrógeno, carbono, oxígeno y nitrógeno. Los elementos químicos señalados, que se conocen como bioelementos, forman compuestos llamados biomoléculas o compuestos orgánicos. Estos compuestos o biomoléculas son los carbohidratos, los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos.

**Nivel celular.** Todos los seres vivos están formados por células, que constituyen la unidad mínima de la materia viva. Las células contienen protoplasma rico en proteínas y carbohidratos, material genético formado por ácidos nucleicos y la membrana celular constituida por fosfolípidos. Todas las funciones vitales que realiza la célula se llevan a cabo a través de reacciones químicas en las que intervienen carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Algunos seres vivos están constituidos por una sola célula y otros tienen estructuras más complejas formadas por muchas células, por lo que se denominan pluricelulares. Las células presentan una gran diversidad en formas, tamaños, estructuras y funciones.

**Nivel tisular.** En muchos organismos pluricelulares se forman tejidos especializados en los cuales un grupo de células llevan a cabo una función específica. Un órgano está compuesto por varios tejidos distintos. Los sistemas son grupos de órganos con estructura y función similar, pero que se encuentran en distintas partes del organismo. El sistema óseo es el conjunto de huesos que tiene el cuerpo. Varios órganos pueden formar un aparato que lleva a cabo una función específica en el organismo. El aparato reproductor, por ejemplo, está formado por un conjunto de órganos. El aparato digestivo está constituido por la boca, la faringe, el esófago, el estómago, el intestino delgado, el intestino grueso y el recto. Todos estos órganos en conjunto coordinan la función de la digestión.

**Nivel organismo o individuo.** Un individuo es un ser con forma propia y bien definida. El individuo cuenta con un conjunto de aparatos y sistemas que llevan a cabo todas las funciones vitales.

**Nivel de población.** Los diferentes individuos de la misma especie que habitan una localidad forman en conjunto poblaciones que conviven con poblaciones de otras especies para formar comunidades. Así, una especie es un conjunto de individuos que pueden reproducirse entre sí y tener descendencia fértil. La especie está formada por todas las poblaciones que habitan distintas localidades. Lo que unifica a todas estas poblaciones es que comparten una historia evolutiva común que les otorga el rango de especie.

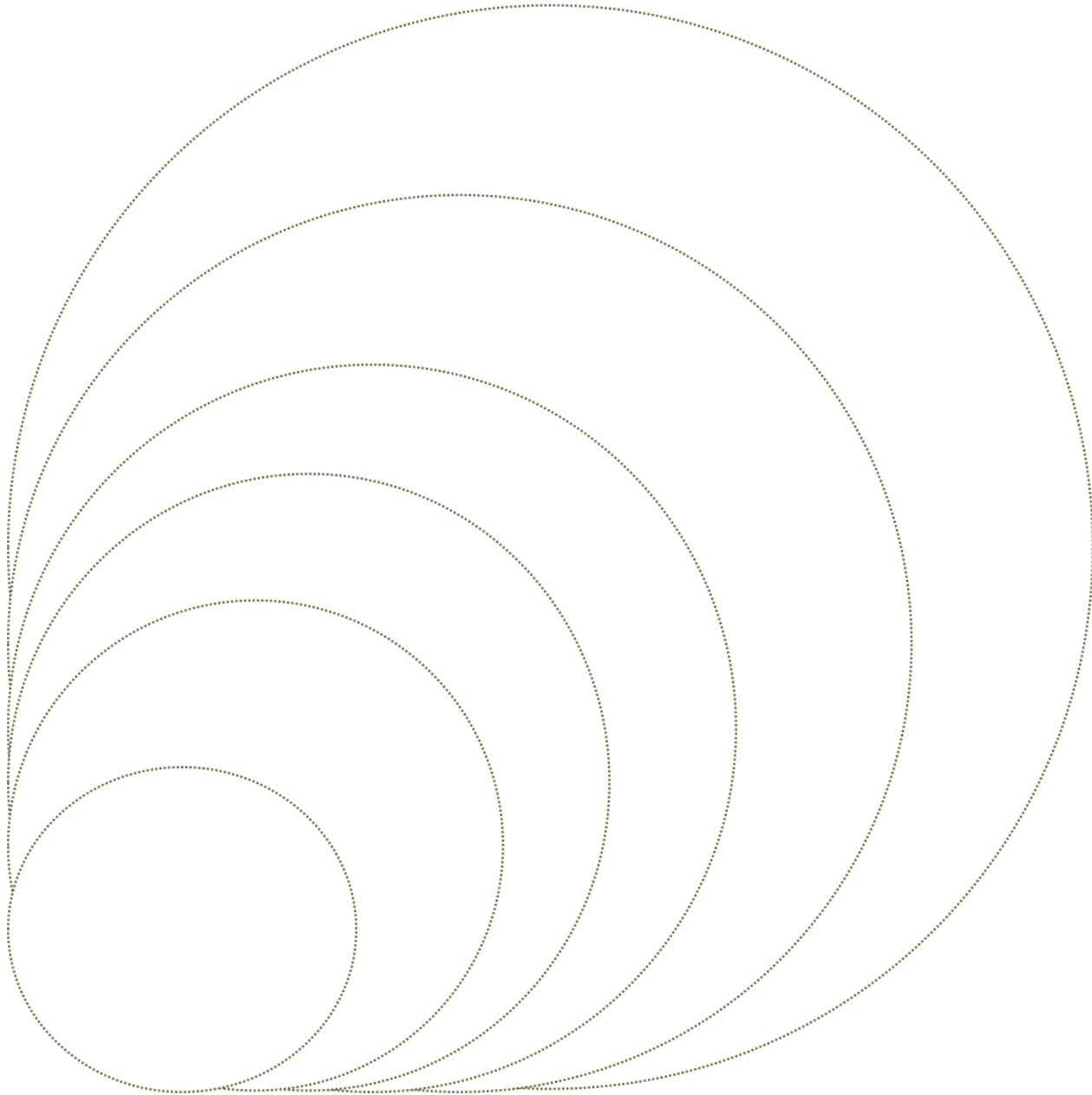
**Nivel de ecosistema.** Las poblaciones de distintas especies integran comunidades que se relacionan entre sí y con el medio ambiente, formando ecosistemas complejos.

---

<sup>1</sup> Oñate, O. L. (2010). Biología I con enfoque en competencias. Cengage Learning Editores: México. p. 15-16.

**Anexo 3.** Formato: Ilustración de niveles de organización.

### **Ilustración de niveles de organización**



**Anexo 4.** Lectura: Niveles de organización en algas.

### Niveles de organización en algas <sup>2</sup>

Dreckmann et al. (2013)

El nivel de organización se define como el grado de complejidad morfológica y fisiológica de un organismo. en las algas, reconocemos diferentes tipos de organización, comenzando desde el nivel unicelular que es el más sencillo hasta el pseudoparénquima de las algas pardas que es el más complejo.

Los niveles de organización pueden ser clasificados de acuerdo al incremento en complejidad estructural, como se muestra en el siguiente esquema:

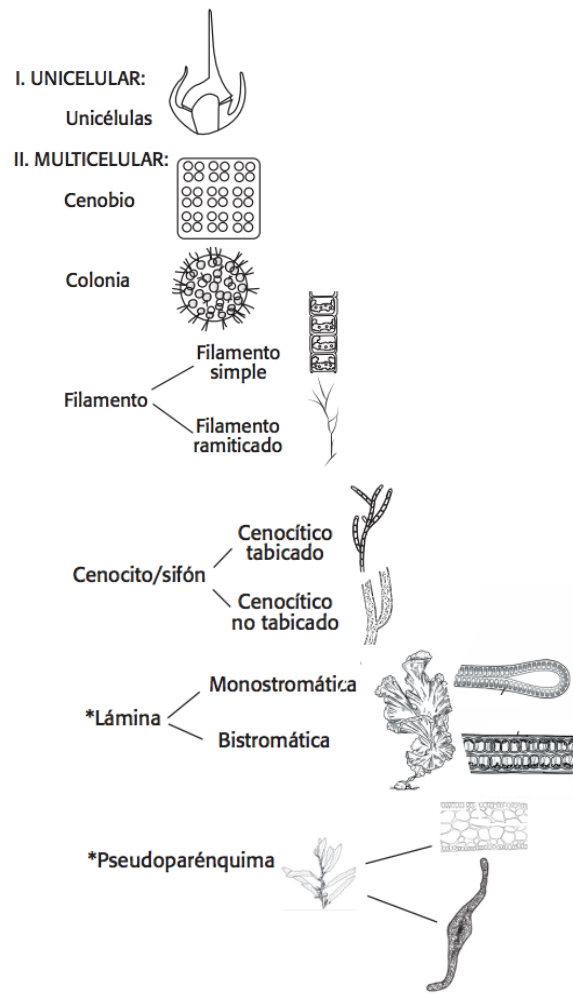


Figura 1. Esquema de niveles de organización en algas.

<sup>2</sup> Dreckmann, K. M., Sentías, A. y Nuñez, M. L. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio*. Biología de Algas. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa: México. p. 16.

### Tipos morfológicos de algas <sup>3</sup>

Romagnoli (2019)



<sup>3</sup> Romagnoli, M. G. (2015). Tipos morfológicos de algas. Recuperado el 04 julio, 2019 de: <https://www.youtube.com/watch?v=51nHUI3NIU>

**Anexo 6.** Actividad de laboratorio: Algas verde azules (niveles de organización).

## **Algas verde azules (niveles de organización)<sup>4</sup>**

Dreckmann et al. (2013)

### **Introducción**

Las algas verde azules (Cyanophyceae), son organismos procarióticos fotoautótrofos con una distribución cosmopolita, pues podemos encontrarlas tanto en mares, ríos, lagos, lagunas como en hielos, desiertos, suelos o aguas termales. Su aparición en la tierra data de 3500 millones de años, son el grupo de algas más primitivo, responsables del cambio de una atmósfera reductora a una atmósfera oxigénica.

Presentan una gran variedad de niveles de organización, desde formas unicelulares -que son poco comunes pues generalmente se encuentran a partir de dos células unidas por la vaina- hasta cenobios, colonias, filamentos simples (conformados por el tricoma más la vaina) y filamentos multiseriados. Los filamentos pueden presentar ramificaciones verdaderas, producto de un cambio en el plano de división celular, o ramificaciones falsas o pseudoramificaciones, producto de un cambio en la dirección en el arreglo de las células en el tricoma o por la ruptura de éste, quedando unidas por la vaina, semejando una ramificación.

A pesar de que algunos las consideran como bacterias y no como algas, en las algas verde azules es posible observar un patrón estructural básico (características esenciales que definen al grupo biológico) el cual es semejante al resto de lo que conocemos como algas; es decir, a pesar de ser procariontes en su organización celular, poseen el pigmento fotosintético primordial: clorofila a y pigmentos accesorios (“cosechadores de luz”) como ficoeritrinas y ficocianinas. También presentan niveles de organización más complejos como las algas eucarióticas, a diferencia de las bacterias estrictas que presentan formas sencillas.

**Temas a desarrollar:** Niveles de organización

### **Objetivos**

- Observar bajo el microscopio óptico, las diferencias morfológicas en el grupo.
- Observar y diferenciar los niveles de organización y estructuras especializadas del grupo.

### **Material por equipo:**

- Muestras colectadas de cuerpos de agua estancada
- Microscopio compuesto
- Pipetas Pasteur
- Goteros con bulbo de goma
- Aceite de inmersión
- Papel seda
- 1 Caja de Petri
- Agujas y pinzas de disección

### **Proporcionado por el Profesor:**

- Lugol

---

<sup>4</sup> Dreckmann, K. M., Senties, A. y Nuñez, M. L. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio*. Biología de Algas. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa: México. p. 23-25, 27-29.

## Desarrollo

Debido a que las especies de algas verde azules viven sobre otras algas, o sea son epifitas, o suspendidas en la columna de agua, para observarlas será necesario hacer preparaciones in toto (esto es, montando el objeto en agua y sin requerir técnicas histológicas especiales) de fragmentos de algunas algas verdes, rojas y cafés. Dichos fragmentos pueden ser teñidos con una gota de colorante (el que el profesor indique) antes de poner el cubreobjetos para facilitar la observación de estos microorganismos.

Diferenciar las siguientes estructuras: acineto, heterocisto, hormogonio, filamento, tricoma, vaina, necridio, ramas y pseudoramas.

## Resultados

Elaborar esquemas evidenciando las estructuras características de los grupos, así como incorporar el nivel de organización e indicar el objetivo (10X, 40X, 100X) al que fueron hechas las observaciones.

## Discusión

Se sugiere discutir sobre la implicación ecológica y evolutiva de los diferentes niveles de organización y estructuras especializadas presentes en algas verde azules. También puede enfocarse la discusión a la diversidad morfológica en el grupo, la diversidad de ambientes en que crecen, su importancia ecológica o económica o el papel que juegan en su ambiente. Otro punto de discusión importante puede enfocarse hacia por qué se presentan en ciertas épocas del año y bajo condiciones ambientales, florecimientos algales nocivos (sobre todo de especies tóxicas) en cuerpos de agua eutróficos (Fig. 1-3).

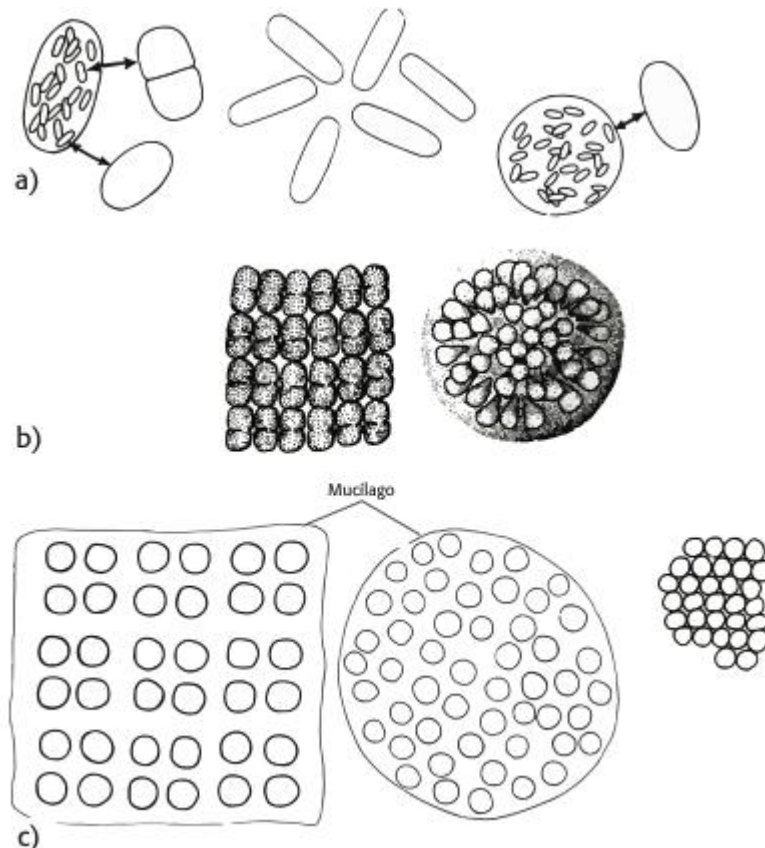


Figura 1. Morfología general de las algas verde-azules: a) formas unicelulares, b) y c) formas cenobiales.

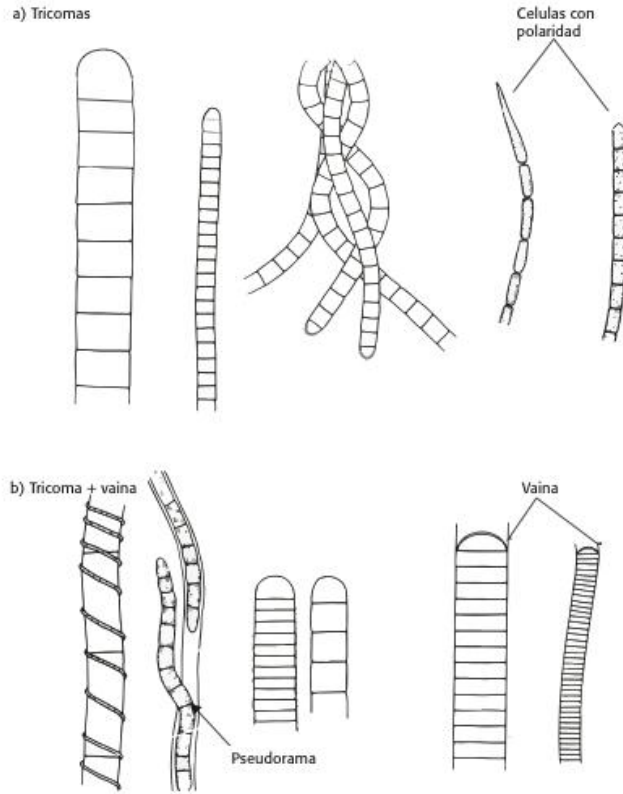


Figura 2. Morfología general de las algas verde-azules: a) tricomas y b) tricoma más vaina.

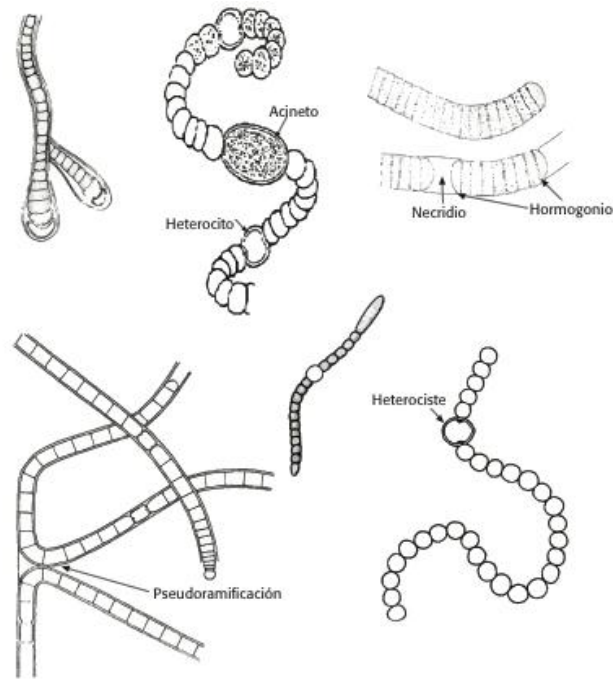


Figura 3. Morfología general de las algas verde-azules: tricomas con heterocitos.



## ESTRATEGIA DIDÁCTICA 2

Estructuras de las células procariota y eucariota. *Algas procariotas y eucariotas.*



### I. DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología I
SEMESTRE ESCOLAR	Tercer Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

### II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 2. ¿Cuál es la unidad estructural y funcional de los sistemas biológicos?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo:</b> Al finalizar, el alumno: Identificará las estructuras y componentes celulares a través del análisis de la teoría celular para que reconozca a la célula como la unidad estructural y funcional de los sistemas biológicos.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos:</b> Describe las semejanzas y diferencias estructurales entre las células procariotas y eucariotas. <b>Aprendizajes operativos:</b> 1. Identifica estructuralmente a las células procariotas y eucariotas. 2. Distingue las semejanzas y diferencias estructurales procariotas y eucariotas en células algales. 3. Examina y clasifica diferentes organismos de acuerdo a su tipo celular.
TEMA(S)	Temática 2. Estructura y función celular ● Estructuras de las células procariota y eucariota.

### III. ESTRATEGIA

Las actividades de esta estrategia buscan el aprendizaje y el reconocimiento de las semejanzas y diferencias estructurales entre células procariotas y eucariotas, por medio actividades retroalimentativas, tanto individuales, grupales y en equipo, como: la indagación bibliográfica,



esquemas comparativos y una actividad de laboratorio representativa del tema, así como ejercicios de examinación y clasificación de organismos de acuerdo a su tipo celular, como es el caso de las algas.

#### IV. SECUENCIA

TIEMPO DIDÁCTICO	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
DESARROLLO Y ACTIVIDADES	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)</p> <p>Los estudiantes investigarán bibliográficamente las semejanzas y diferencias estructurales de las células procariotas y eucariotas, lo cual será apoyado con imágenes. Cuyos hallazgos serán registrados en sus cuadernos para compartirlos en clase.</p> <p>De apertura (1 hora)</p> <p>Con los resultados obtenidos de las investigaciones bibliográficas de los estudiantes, en clase y de manera grupal se elaborará un cuadro comparativo (anexo 1) en el pizarrón sobre los datos relevantes que caracterizan y distinguen a las células procariotas de las eucariotas.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Esta actividad se divide en dos grandes pasos de media hora cada uno:</p> <p>1ro. Dividir al grupo en dos equipos, un equipo se encargará de ilustrar en la mitad del pizarrón una célula eucariota, donde se resalten sus características estructurales y se mencionen ejemplos (como fuente de información recurrirán a sus investigaciones previas); el otro equipo realizará la misma actividad pero con las características de la célula procariota.</p> <p>2do. La primera mitad del grupo explicará a manera de exposición al resto del grupo su esquema y ejemplos, los espectadores podrán reforzar sus investigaciones tomando nota de algunos datos que no hayan considerado. Al terminar dicha explicación, el segundo equipo pasará a exponer su información correspondiente y se repetirá la dinámica. Si se llega a tener alguna duda al respecto, en primer lugar cada equipo expositor podrá contestar de acuerdo a su información, si la duda prevalece el docente deberá argumentar al respecto.</p> <p>Para el apoyo del docente se adjunta un esquema comparativo de las semejanzas y diferencias estructurales de las células procariotas y eucariotas (anexo 2).</p> <p>Como retroalimentación el profesor expone las semejanzas y diferencias</p>

	<p>estructurales de las algas procariotas y eucariotas, apoyándose en el esquema del anexo 3.</p> <p style="text-align: right;">(2 horas)</p> <p>Llevar a cabo la práctica de laboratorio Reconocimiento de células procariotas y eucariotas en algas, de acuerdo al anexo 4.</p> <p><b>Actividades de cierre:</b> <span style="float: right;">(1 hora)</span></p> <p>Para reconocer los conocimientos y habilidades adquiridas del tema, los estudiantes resolverán individualmente ejercicios propuestos por el profesor a cargo.</p>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b>	<p>Recursos bibliográficos o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Aula-laboratorio de trabajo. Pizarrón y gises de colores o pintarrón y marcadores. Lápices de colores.</p> <p>Anexo 1. Cuadro comparativo: Células procariotas y eucariotas.</p> <p>Anexo 2. Esquema comparativo: Semejanzas y diferencias estructurales de las células procariotas y eucariotas.</p> <p>Anexo 3. Lectura: Semejanzas y diferencias estructurales de las algas procariotas y eucariotas.</p> <p>Anexo 4. Actividad de laboratorio: Cianobacterias procariotas y Euglenoides eucariotas.</p> <p>Ejercicios de conocimientos y habilidades adquiridas del tema.</p>
<b>EVALUACIÓN</b>	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se juntaran puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b></p> <p>Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto</p> <p>Actividad de inicio (apertura): cuadro comparativo grupal.....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b></p> <p>Primera actividad de desarrollo: esquema comparativo en equipo.....2 puntos</p> <p>Segunda actividad de desarrollo: práctica de laboratorio en equipo..... 3 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b></p> <p>Actividad de cierre: ejercicios de conocimiento individual.....3 puntos</p>

La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.

## V. REFERENCIAS DE APOYO

<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.</b>	Brachhold, A. (2019). Partes de la célula eucariota. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <a href="https://www.partesdel.com/wp-content/uploads/partes-de-la-celula-eucariota.jpg">https://www.partesdel.com/wp-content/uploads/partes-de-la-celula-eucariota.jpg</a> Brachhold, A. (2019). Partes de la célula procariota. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <a href="https://www.partesdel.com/wp-content/uploads/partes-de-la-celula-procariota.jpg">https://www.partesdel.com/wp-content/uploads/partes-de-la-celula-procariota.jpg</a> Monroy, A. (2019). Atacan las cianobacterias. El país, viajes. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <a href="http://viajes.elpais.com.uy/2015/03/25/atacan-las-cianobacterias/">http://viajes.elpais.com.uy/2015/03/25/atacan-las-cianobacterias/</a>
<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR</b>	Dreckmann, K. M., Senties, A. y Nuñez, M. L. (2013). <i>Manual de prácticas de laboratorio. Biología de Algas.</i> Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa: México. Lee, R. E. (2008). <i>Phycology.</i> United States of America by Cambridge University Press, New York.
<b>COMENTARIOS ADICIONALES</b>	Es responsabilidad del docente conocer la bibliografía recomendada para los estudiantes.

## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Cuadro comparativo: Células procariotas y eucariotas.

**Anexo 2.** Esquema comparativo: Semejanzas y diferencias estructurales de las células procariotas y eucariotas.

**Anexo 3.** Lectura: Semejanzas y diferencias estructurales de las algas procariotas y eucariotas.

**Anexo 4.** Actividad de laboratorio: Cianobacterias procariotas y Euglenoides eucariotas.

**Anexo 1.** Cuadro comparativo: Células procariotas y eucariotas.

**Células procariotas y eucariotas**

Características	Célula procariota	Célula eucariota	
		Célula animal	Célula vegetal
Cápsula	✓	-	-
Pared celular	✓	-	✓
Membrana plasmática	✓	✓	✓
Citoplasma	✓	✓	✓
Ribosomas	✓	✓	✓
Plásmido	✓	-	-
Pili	✓	-	-
Flagelo	✓	-	-
Nucleoide	✓	-	-
Núcleo	-	✓	✓
Nucléolo	-	✓	✓
Retículo endoplásmico rugoso	-	✓	✓
Retículo endoplásmico liso	-	✓	✓
Citoesqueleto	-	✓	✓
Lisomas	-	✓	✓
Complejo de Golgi	-	✓	✓
Mitocondria	-	✓	✓
Peroxisoma	-	✓	✓
Vacuola	-	✓	-
Gran vacuola central	-	-	✓
Centríolos	-	✓	✓
Cloroplasto	-	-	✓

Anexo 2. Esquema comparativo: Similitudes y diferencias estructurales de las células procariotas y eucariotas.

### Similitudes y diferencias estructurales de las células procariotas y eucariotas

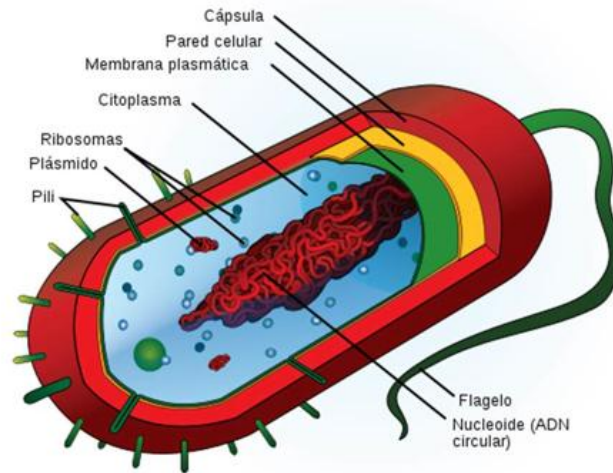


Figura 1. Esquema: partes de la célula procariota.<sup>1</sup>

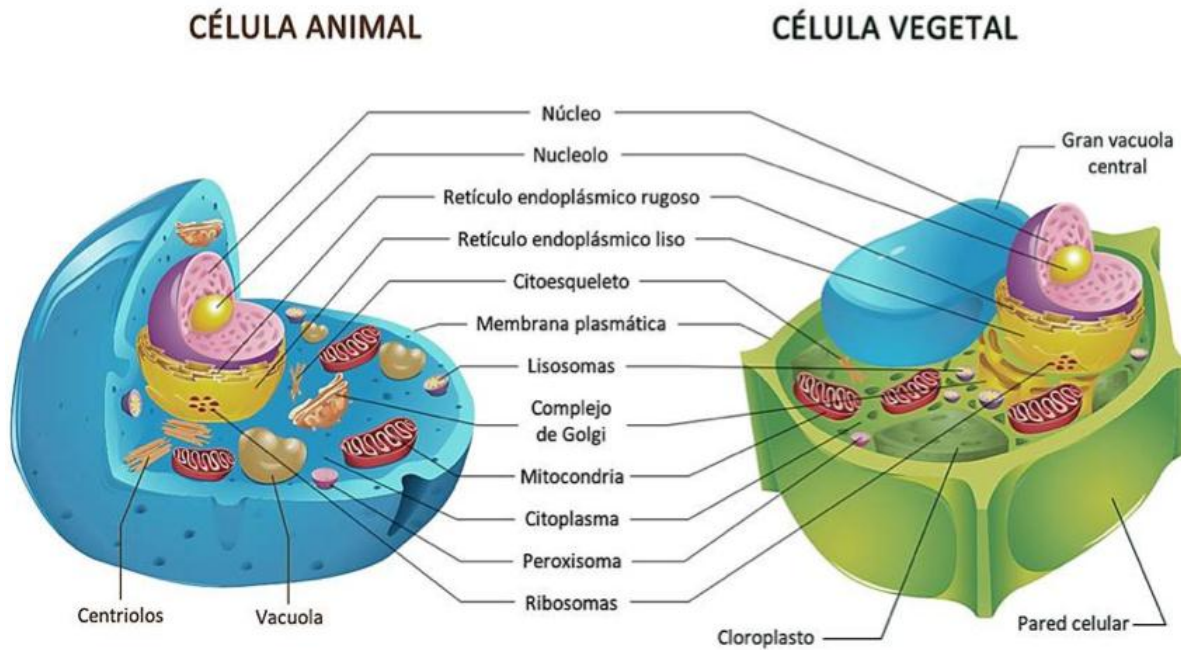


Figura 2. Esquema: partes de la célula eucariota.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Brachhold, A. (2019). Partes de la célula procariota. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <https://www.partesdel.com/wp-content/uploads/partes-de-la-celula-procariota.jpg>

<sup>2</sup> Brachhold, A. (2019). Partes de la célula eucariota. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <https://www.partesdel.com/wp-content/uploads/partes-de-la-celula-eucariota.jpg>

**Anexo 3.** Lectura: Semejanzas y diferencias estructurales de las algas procariotas y eucariotas.

## Semejanzas y diferencias estructurales de las algas procariotas y eucariotas <sup>3</sup>

Dreckmann et al. (2013)

Las algas son un grupo de organismos acuáticos con metabolismo autótrofo que presentan como pigmento fotosintético primario a la clorofila a, característica que comparten con las plantas. Hay dos palabras antiguas relacionadas con el estudio de estos organismos: alga proveniente del latín, que significa “planta acuática”, y phycos, proveniente del griego, que significa “planta marina”. Tanto griegos como romanos diferenciaban a las plantas acuáticas de las terrestres obligadas, únicamente por la relativa sencillez estructural de las primeras.

A pesar de la controversia generada en torno a su clasificación biológica y a su estrecha relación con otros grupos como plantas, bacterias, hongos y protozoarios, las algas comparten una serie de características comunes que las han mantenido como una gran agrupación artificial (polifilética).

Entre esas características se resalta la organización celular que presentan las algas, que con excepción de los representantes de las algas verde azules, es de tipo eucariótica, es decir, presentan núcleo delimitado por una doble membrana, mitocondrias, cloroplastos, retículo endoplásmico, complejo de Golgi y lisosomas (Fig. 1a). En contraste, las algas verde-azules, presentan una organización celular de tipo procariótica; no tienen organelos celulares y su ADN se encuentra en una sola molécula circular en el citoplasma (Fig. 1b).

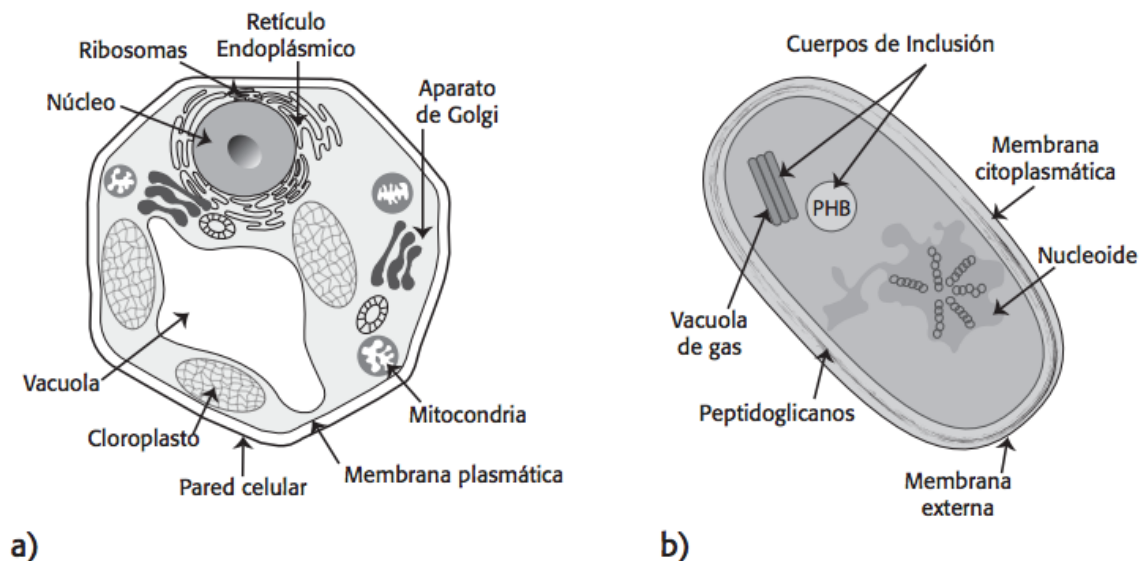


Figura 1. a) Célula eucariótica, b) Célula procariótica (Modificadas de Ghershman, 2006).

<sup>3</sup> Dreckmann, K. M., Senties, A. y Nuñez, M. L. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio*. Biología de Algas. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa: México. p. 13.

**Anexo 4.** Actividad de laboratorio: Cianobacterias procariotas y Euglenoides eucariotas.

## Cianobacterias procariotas y Euglenoides eucariotas <sup>4</sup>

### CIANOBIOTAS - PROCARIOTAS

#### Introducción<sup>5</sup>

Las cianobacterias o algas verde-azules forman un grupo natural en virtud de ser las únicas algas procarióticas. Las algas procariotas tienen una membrana plasmática externa que contiene protoplasma que contiene tilacoides fotosintéticos, ribosomas 70S y fibrillas de ADN no encerradas dentro de una membrana separada. La clorofila a es el principal pigmento fotosintético, y el oxígeno se desarrolla durante la fotosíntesis.

Las cianofíceas o algas verde-azules son, en la actualidad, denominadas cianobacterias (bacterias azul-verdes). El término cianobacterias reconoce que estas algas procarióticas están más estrechamente relacionadas con las bacterias procarióticas que con las algas eucariotas. Durante el último cuarto de siglo, se creía que las cianobacterias habían evolucionado hace unos 3.500 millones de años. Estos informes se basaron en la interpretación de microfósiles, en el mejor de los casos difíciles con organismos tan pequeños. Ahora parece que estos investigadores seleccionaron especímenes que se ajustaban a los supuestos de los autores, y la mayoría de los ficólogos ahora rechazaban sus afirmaciones. Según otros informes, se cree que el tiempo real de evolución de las cianobacterias es más cercano a los 2,7 mil millones de años (Buick, 1992; Brasier et al., 2002; Dalton, 2002). Las cianobacterias tienen clorofila a (algunas también tienen clorofila b o d), ficobiliproteínas, glucógeno como producto de almacenamiento y paredes celulares que contienen amino azúcares y aminoácidos.

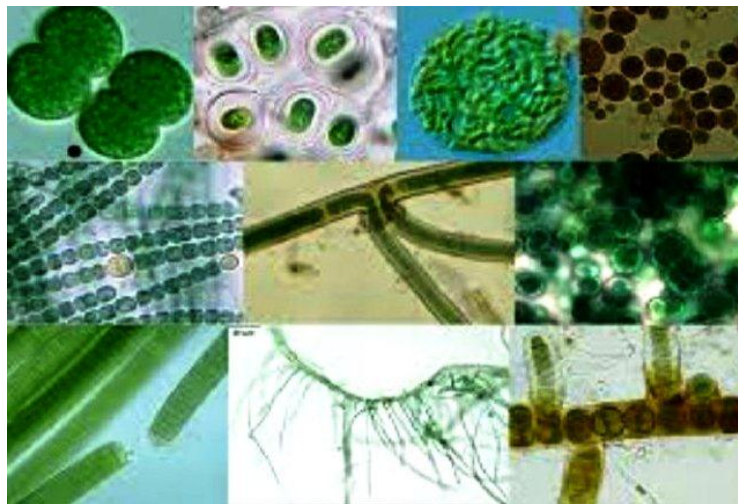


Figura 1. Cianobacterias; De izquierda a derecha: *Synechocystis*, *Gloeotheca*, *Nostoc*, *Dermocarpa*, *Anabaena*, *Scytonema*, *Pleurocapsa*, *Oscillatoria*, *Fischerella*, *Stigonema*.<sup>6</sup>

<sup>4</sup> Dreckmann, K. M., Senties, A. y Nuñez, M. L. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio*. Biología de Algas. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa: México. p. 24-25, 43-44.

<sup>5</sup> Lee, R. E. (2008). *Phycology*. United States of America by Cambridge University Press, New York. p. 31, 33 y 39.

<sup>6</sup> Monroy, A. (2019). Atacan las cianobacterias. El país, viajes. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <http://viajes.elpais.com.uy/2015/03/25/atacan-las-cianobacterias/>

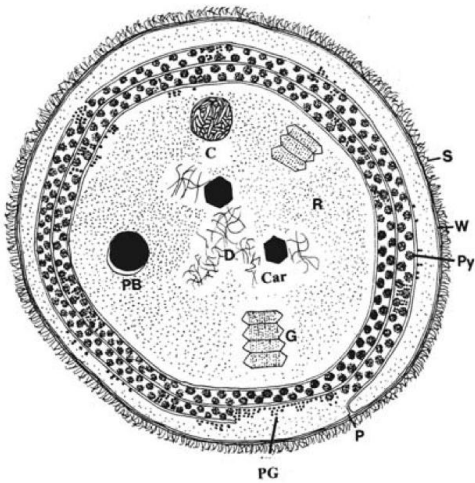


Figura 2. Dibujo de las características estructurales finas de una célula cianobacteriana. (C) Cuerpo de cianofina (gránulo estructurado); (Car) carboxysome (cuerpo poliédrico); (D) fibrillas de ADN; (G) vesículas de gas; (P) plasmalema; (PB) cuerpo de polifosfato; (PG) gránulos de poliglucano; (Py) ficobilisomas; (R) ribosomas; (S) vaina; (W) pared.

### Objetivo

- Observar algas cianobacterias como representantes de células procariotas.

### Material por equipo:

- Muestras colectadas de cuerpos de agua estancada
- Microscopio electrónico
- Pipetas Pasteur
- Goteros con bulbo de goma
- Aceite de inmersión
- Papel seda
- 1 Caja de Petri

### Proporcionado por el profesor:

- Lugol

### Desarrollo

Debido a que las especies de algas verde azules viven sobre otras algas, o sea son epifitas, o suspendidas en la columna de agua, para observarlas será necesario teñir con una gota de colorante (el que el profesor indique) antes de poner el cubreobjetos para facilitar la observación de estos microorganismos.

### Resultados

Elaborar esquemas evidenciando las estructuras características de las cianobacterias como células procariotas e indicar el objetivo (10X, 40X, 100X) al que fueron hechas las observaciones.

### Discusión



Se sugiere discutir sobre las observaciones entre un alga eucariota (euglenoides) y una procariota (cianobacterias).

## EUGLENOIDES - EUCARIOTAS

### Introducción<sup>7</sup>

Los euglenoides (Euglenophyceae) presentan las siguientes características:

Como pigmentos fotosintéticos presentan clorofila a y b.

Como sustancia de reserva poseen un polímero de la glucosa con uniones químicas Beta-1,3 conocido como Paramilon (el almidón producido en las algas verdes es también un polímero de la glucosa, pero las uniones químicas son del tipo  $\alpha$ -1,4) y se encuentra presente en el citoplasma y no en el cloroplasto. Este mismo exceso de la producción fotosintética implica otra gran diferencia.

Son habitantes del dominio planctónico en aguas de salinidades bajas y en aguas con materia orgánica. Lugares ideales para recolectarlas son los canales de Cuernavaca al sur oriente de la ciudad de México; ahí viven en la columna de agua o entre el sistema radicular libre del “lirio acuático”. Desde luego, estas son microscópicas y se requiere la revisión de varias muestras para poder observarlas en abundancia. Si uno mete la mano al agua, toma la raíz de una planta de lirio y exprime ésta arriba de un frasco de 150ml, con mucha seguridad el agua de aspecto turbio (por no decir “medio podrida”) contendrá varios individuos de, sobre, todo, los géneros *Euglena* Ehrenberg y *Phacus* Dujardin.

El nivel de organización que presenta es el unicelular estricto.

Su reproducción es asexual.

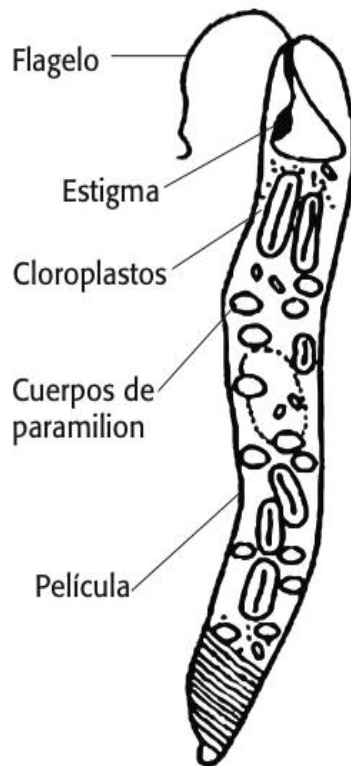


Figura 3. Morfología general de los euglenoides (Modificado de Garduño et al., 2008).

<sup>7</sup> Dreckmann, K. M., Sentías, A. y Nuñez, M. L. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio*. Biología de Algas. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa: México. p. 43-44.

### Núcleo y división nuclear<sup>8</sup>

El núcleo euglenoide es del tipo mesocariótico, tiene cromosomas que se condensan permanentemente durante el ciclo mitótico, un nucléolo (endosoma) que no se dispersa durante la división nuclear, no hay microtúbulos desde los cromosomas a los husillos polares, y una envoltura nuclear que está intacta durante la división nuclear (Fig. 4). El número de cromosomas suele ser alto, y la poliploidía probablemente ocurre en algunos géneros (Gravilá, 1996).

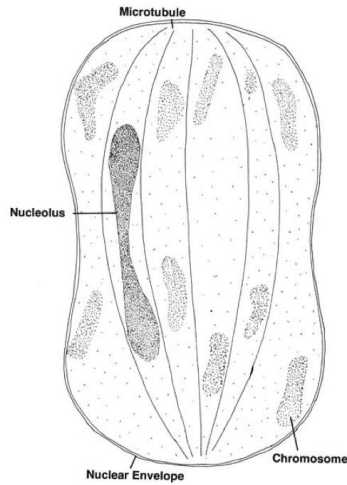
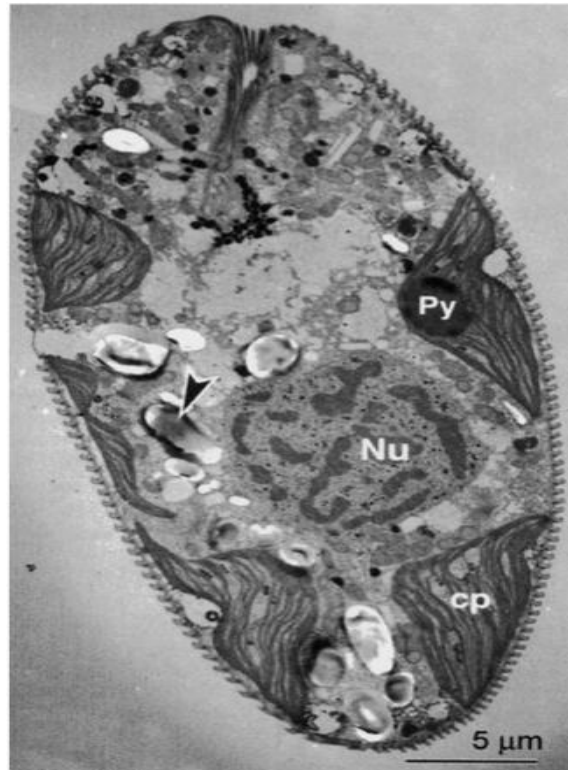


Figura 4. Un dibujo semidiagramático de un núcleo en anafase de Euglena con envoltura nuclear intacta, el nucléolo pellizcando en dos y los cromosomas no unidos a los microtúbulos del huso.



<sup>8</sup> Lee, R. E. (2008). *Phycology*. United States of America by Cambridge University Press, New York. p. 248.

Figura 5. *Euglena rustica*. Micrografía electrónica de transmisión de una sección sagital media de una célula. (Flecha) gránulo de paramylon; (cp) cloroplasto; (Py) pirenoide; (Nu) núcleo. (De Brown et al., 2002.)

### **Objetivo**

- Observar diferentes euglenoideos como ejemplo de células eucariotas.

### **Material por equipo:**

- Muestras de raíces de lirio acuático
- Muestras de fitoplancton de charcos, presas o lagos
- Microscopio estereoscópico
- Microscopio compuesto
- 1 Caja de Petri
- Agujas y pinzas de disección
- Aceite de inmersión
- Papel seda
- Colorantes (lugol, safranina, cristal violeta, verde yodo, azul de metileno, entre otros).
- Portaobjetos y cubreobjetos
- Pipeta Pasteur

### **Desarrollo**

Con una pipeta Pasteur tome una alícuota (pequeña cantidad que se dice es representativa de la muestra) del agua recolectada y póngala sobre el portaobjetos. Observe a los organismos en vivo bajo un microscopio compuesto. Agregue una gota de colorante (el que el profesor indique) y observe nuevamente con el microscopio. Haga lo mismo con las muestras de exprimido de sistema radicular de lirio acuático.

### **Resultados**

Elaborar esquemas evidenciando las estructuras características de los euglenoideos como células eucariotas e indicar el objetivo (10X, 40X, 100X) al que fueron hechas las observaciones.

### **Discusión**

Se sugiere discutir sobre las observaciones entre un alga eucariota (euglenoides) y una procariota (cianobacterias).



## ESTRATEGIA DIDÁCTICA 3

La célula y su entorno. *Membrana plasmática vs pared celular de las algas.*



### I. DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología I
SEMESTRE ESCOLAR	Tercer Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

### II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 2. ¿Cuál es la unidad estructural y funcional de los sistemas biológicos?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo:</b> Al finalizar, el alumno: Identificará las estructuras y componentes celulares a través del análisis de la teoría celular para que reconozca a la célula como la unidad estructural y funcional de los sistemas biológicos.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos:</b> Describe los componentes de la membrana celular y los tipos de transporte y regulación a través de ella. <b>Aprendizajes operativos:</b> 1. Reconoce los componentes de la membrana celular. 2. Distingue los diferentes tipos de transporte a través de la membrana celular. 3. Interpreta el proceso de regulación a través de la membrana celular. 4. Destaca diferencias entre la membrana celular y el ejemplo de la pared celular de las algas
TEMA(S)	Temática 2. Estructura y función celular ● La célula y su entorno.

### III. ESTRATEGIA

La presente estrategia busca el reconocimiento y distinción de los componentes de la membrana celular, así como sus tipos de transporte y procesos de regulación. Además de destacar las diferencias entre la membrana celular y el ejemplo de la pared celular de las algas. Por medio actividades

retroalimentativas: individuales, grupales y en equipo, como la búsqueda bibliográfica, esquemas representativos, representación de las funciones de la membrana celular y contrastación con la pared celular de las algas.

#### IV. SECUENCIA

<b>TIEMPO DIDÁCTICO</b>	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
<b>DESARROLLO Y ACTIVIDADES</b>	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)</p> <p>Los estudiantes indagarán acerca de información sobre la membrana celular, destacando componentes y funciones. Registrarán dicha información en sus cuadernos para compartirlas en clase. (Es importante que esta tarea lleve implícito un esquema ilustrativo)</p> <p>De apertura (1 hora)</p> <p>Por medio de participaciones voluntarias guiadas por el profesor(a) los estudiantes construirán de manera grupal un esquema representativo de la estructura de la membrana celular, de acuerdo a lo encontrado en su investigación previa. Guiarse en el anexo 1.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Los estudiantes se organizarán por equipo para elaborar un dibujo en un papel bond donde representen una función de la membrana celular. Entre las funciones a destacar no se deben olvidar los diferentes tipos de transporte y sus procesos de regulación. Se pueden basar en la lectura del anexo 2 Al finalizar se darán 5 minutos para que un compañero del equipo lo explique al resto del grupo.</p> <p>(2 hora)</p> <p>Los estudiantes realizarán en equipos la actividad de laboratorio de acuerdo al anexo 5, para observar las estructuras de diferentes diatomeas, al finalizar las observaciones se recomienda discutir sobre las características que le da la composición particular de la pared celular a este tipo de algas.</p> <p><b>Actividades de cierre:</b> (1 hora)</p> <p>El profesor organizará cuatro equipos, cada uno de los cuales deberán leer los anexos 3 y 4 y resaltar los diferentes componentes de las paredes celulares de uno de los cuatro ejemplos que encontrarán en la lectura (cianobacteria, rodofita, clorofita, feofitas y bacillariophyceae). Al finalizar buscarán un gráfico que represente el tipo de alga que trabajaron y lo usaran para explicar lo</p>

	<p>encontrado. El profesor proyectará dos esquemas que ejemplifiquen a)membrana celular y b)pared celular de las algas. Con la finalidad de ampliar el panorama de distintas formas de relación de las células con su entorno. Los estudiantes escribirán (una cuartilla máximo) acerca de las diferencias estructurales que noten. En esta actividad el profesor(a) puede apoyarse con los anexos 1, 3 y 4.</p>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b>	<p>Recursos bibliográficos o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Papel bond y marcadores por equipo. Aula-laboratorio de trabajo. Pizarrón y gises de colores o pintarrón y marcadores.</p> <p>Anexo 1. Esquema ilustrativo: Membrana celular.</p> <p>Anexo 2. Lectura: Tipos de transporte y procesos de regulación de la membrana celular.</p> <p>Anexo 3. Lectura: Las paredes celulares y los mucilagos de las algas.</p> <p>Anexo 4. Lectura: Pared celular en bacillariophyceae.</p> <p>Anexo 5. Actividad de laboratorio: Observación de diatomeas.</p>
<b>EVALUACIÓN</b>	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se juntaran puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b></p> <p>Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto</p> <p>Actividad de inicio (apertura): esquema grupal.....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b></p> <p>Primera actividad de desarrollo: dibujo en equipo.....2 puntos</p> <p>Segunda actividad de desarrollo: actividad de laboratorio.....2 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b></p> <p>Actividad de cierre: escrito de membrana celular vs pared celular.....2 puntos</p> <p>La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.</p>

## V. REFERENCIAS DE APOYO

<b>BIBLIOGRAFÍA DE</b>	<p>Angulo, R., Galindo, U., Avendaño P. y Pérez A. (2012). <i>Biología celular</i>. Primera edición. Universidad Autónoma de Sinaloa. Dirección general de escuelas</p>
------------------------	---

<b>CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.</b>	preparatorias: México.
<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR</b>	<p>Lee, R. E. (2008). <i>Phycology</i>. United States of America by Cambridge University Press, New York.</p> <p>Carmona J. J., Hernández M. M. A., y Ramírez V. M. (2004). <i>Algas. Glosario ilustrado</i>. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ciencias. México.</p> <p>Recuperado el 19 de julio, 2019 de:  <a href="http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/177709/2004%20Carmona%2C%20J.%20Libro%20-%20Glosario%20Algas.pdf?sequence=2">http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/177709/2004%20Carmona%2C%20J.%20Libro%20-%20Glosario%20Algas.pdf?sequence=2</a></p>
<b>COMENTARIOS ADICIONALES</b>	Para que sea más ilustrativa la lectura 2, se recomienda recurrir a la original.

## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Esquema ilustrativo: Membrana celular.

**Anexo 2.** Lectura: Tipos de transporte y procesos de regulación de la membrana celular.

**Anexo 3.** Lectura: Las paredes celulares y los mucilagos de las algas.

**Anexo 4.** Lectura: Pared celular en bacillariophyceae.

**Anexo 5.** Actividad de laboratorio: Observación de diatomeas.

Anexo 1. Esquema ilustrativo: Membrana celular.

## Membrana celular<sup>1</sup>

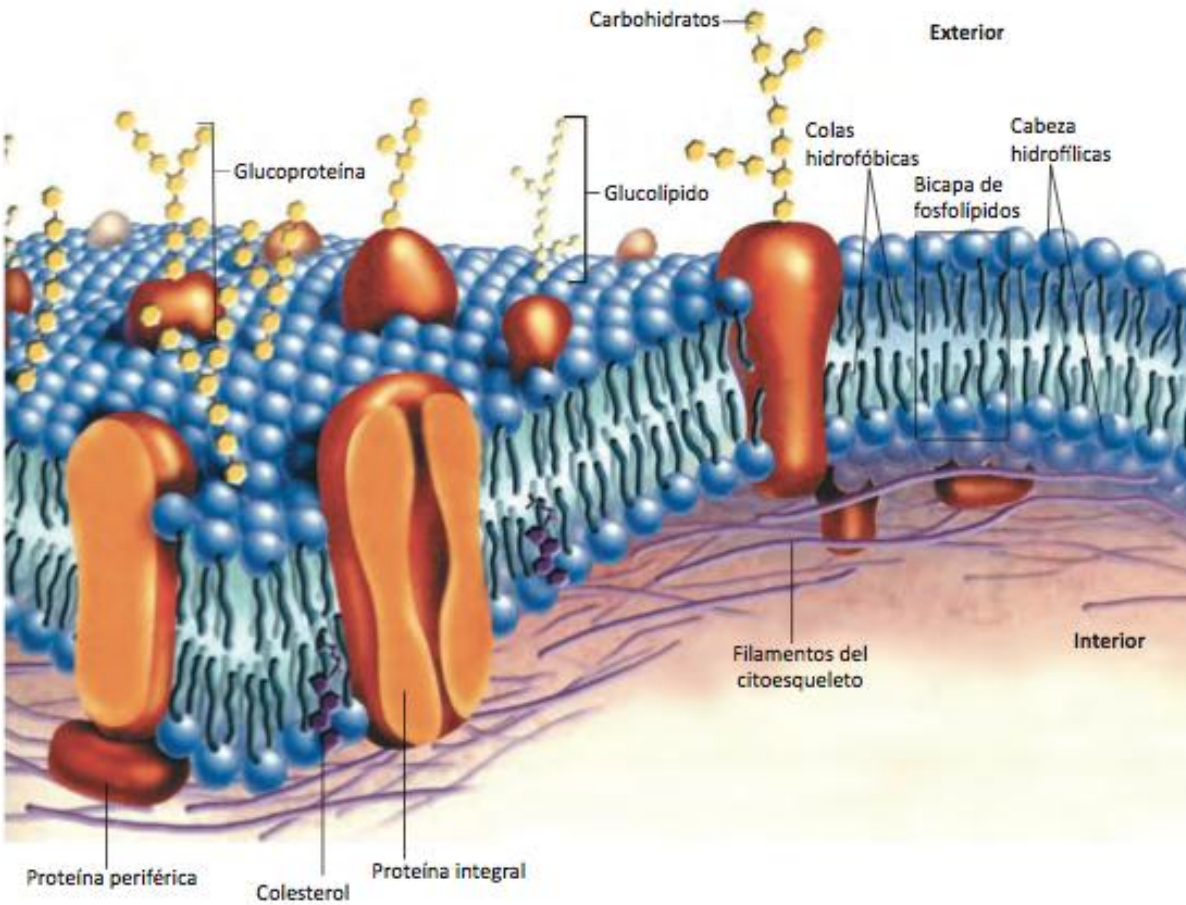


Figura 1. Modelo de mosaico fluido de la membrana plasmática.

<sup>1</sup> Angulo, R., Galindo, U., Avendaño P. y Pérez A. (2012). *Biología celular*. Primera edición. Universidad Autónoma de Sinaloa. Dirección general de escuelas preparatorias: México. p. 51.



**Anexo 2.** Lectura: Tipos de transporte y procesos de regulación de la membrana celular.

## **Transporte y regulación a través de la membrana celular <sup>2</sup>**

La membrana plasmática, delimita el territorio de la célula y controla su contenido químico, es decir, la célula está rodeada por una membrana que representa el límite entre el medio extracelular y el intracelular; a través de ella se transmiten mensajes que permiten a las células realizar numerosas funciones.

Las funciones de la membrana plasmática son: regular el paso de sustancias hacia el interior de la célula y viceversa, permite el paso de ciertas sustancias e impide el paso de otras, actuando como barrera de permeabilidad selectiva. Es una estructura continua que rodea a la célula por un lado, está en contacto con el citoplasma ( medio interno) y por el otro, con el medio extracelular que representa el medio externo. Contiene receptores específicos que permiten a la célula interactuar con mensajeros químicos y emitir la respuesta adecuada y, por consiguiente, proporcionar el medio apropiado para el funcionamiento de las proteínas de membrana. Aísla y protege a la célula del ambiente externo, confiriéndole su individualidad, al separarla del medio externo.

Estructura: modelo del mosaico fluido

El modelo más aceptado de membrana fue propuesto por Jonathan Singer y Garh Nicholson en 1972 y se denomina “modelo del mosaico fluido”. En este modelo la membrana se describe como un fluido debido a que los lípidos pueden difundirse lateralmente en el plano de la membrana, mientras que las proteínas están dispersas por toda la membrana igual que un mosaico. Muchas de las proteínas de membrana conservan la capacidad de moverse lateralmente y se asemejan a icebergs que flotan en un mar de lípidos.

El modelo de membrana está constituido por proteínas en un 55%, fosfolípidos 25%, colesterol 13%, otros lípidos 4% y carbohidratos 3%. La distribución de los fosfolípidos proporcionan la estructura básica, mientras que las proteínas aportan la funcionalidad. En la membrana plasmática de la célula eucariota se localizan tres tipos de lípidos: fosfolípidos, glucolípidos y colesterol.

**Fosfolípidos.** Los fosfolípidos son los principales componentes estructurales de la membrana plasmática al de la membrana celular son fosfolípidos y los más importantes de estos son la fosfatidilcolina (lectina), fosfatidiletanolamina, fosfatidilserina y esfingomiélin. Estas moléculas son anfipáticas, esto significa que poseen un extremo hidrofílico muy polar (la cabeza) y un extremo hidrofóbico no polar, constituido por dos largas cadenas de ácidos grasos (la cola). Los extremos no polares, con fobia al agua, (ya que el agua es polar), forman el interior hidrofóbico de la membrana, mientras que los extremos muy polares se orientan hacia la superficie donde hay agua, que también es polar.

Los fosfolípidos se encuentran acomodados en dos capas y se le conoce como doble capa fosfolipídica o bicapa lipídica la cual es fluida, es decir, tiene características de líquido por lo que se encuentran en constante movimiento, intercambiando sus lugares con las moléculas vecinas. La viscosidad de la capa depende

---

<sup>2</sup> Angulo, R., Galindo, U., Avendaño P. y Pérez A. (2012). *Biología celular*. Primera edición. Universidad Autónoma de Sinaloa. Dirección general de escuelas preparatorias: México. p. 221.

de las cadenas de ácidos grasos de las moléculas de fosfolípido. La doble capa de fosfolípidos es relativamente impermeable a la mayoría de las moléculas hidrosolubles y representa la estructura básica de la membrana.

La membrana plasmática tiene fluidez, cuyos movimientos que realizan los fosfolípidos son: rotación, difusión lateral, flip-flop y flexión.

**Colesterol.** El colesterol contribuye a que la doble capa lipídica sea menos fluida y permeable. Debido a su rígida estructura cíclica esteroide, que se interpone entre las colas de los fosfolípidos, lo que disminuye la capacidad de movimiento de los ácidos grasos provocando el endurecimiento de las membranas plasmáticas.

**Proteínas.** Muchas de las funciones biológicas de la membrana plasmática dependen de las proteínas, como el transporte de materiales hacia el interior y el exterior de las células. Otras sirven como receptores, enzimas, etc. Las moléculas de las también pueden girar alrededor de su eje y muchas de ellas pueden desplazarse lateralmente a través de la membrana. Las proteínas de membrana se clasifican en periféricas e integrales.

**Carbohidratos.** Estas moléculas se ubican mayoritariamente en la superficie externa de las células eucariotas, contribuyendo a la asimetría de membrana. Se encuentran oligosacáridos que se unen a los lípidos formando glucolípidos o al unirse a las proteínas forman glucoproteínas. Esta cubierta de glúcidos constituye la cubierta celular o glucocáliz, a la que se le atribuyen funciones fundamentales como:

Propiedades inmunitarias, participa en los procesos de coagulación de la sangre y en las reacciones inflamatorias; en los glóbulos rojos representan los antígenos propios de los grupos sanguíneos del sistema ABO. Protege la superficie de las células de posibles lesiones. Confiere viscosidad a las superficies celulares permitiendo el deslizamiento de células en movimiento, como los glóbulos blancos (leucocitos). Interviene en los fenómenos de reconocimiento celular, particularmente importantes en el desarrollo embrionario y en los procesos de rechazo de injertos y trasplantes. En los procesos de adhesión entre óvulos y espermatozoides, éstos distinguen los óvulos de la propia especie de los de especies diferente.

#### Mecanismos de transporte de moléculas

Es el intercambio de materia entre el interior de la célula y su ambiente externo. La bicapa lipídica de la membrana actúa como una barrera que separa dos medio acuosos, el medio donde vive la célula y el medio interno celular. Las células requieren nutrientes del exterior y deben eliminar sustancias de desecho procedentes del metabolismo y mantener estable su medio interno. La membrana presenta una permeabilidad selectiva, ya que permite el paso de pequeñas moléculas y bloquea el paso de otras. El transporte a través de la membrana depende del tamaño de las moléculas y se divide en dos grandes grupos: las moléculas de bajo peso molecular y los de moléculas de elevado peso molecular.

La membrana puede realizar sus funciones debido a que es selectivamente permeable, de tal manera que algunas sustancias pueden entrar y salir a través de ella y otras no.

En general, sustancias tales como el dióxido de carbono, oxígeno, glicerol, agua y alcohol puede cruzar libremente la membrana. Son capaces de pasar entre las cabezas hidrofílicas de los fosfolípidos y atravesar las colas hidrofóbicas de la membrana. Se dice que estas moléculas siguen su gradiente de concentración y se mueven de un área donde su concentración es alta a un área donde su concentración es baja.

El transporte de moléculas de bajo peso molecular se lleva a cabo mediante transporte pasivo y transporte activo.

Transporte pasivo. Es un proceso de difusión de sustancias a través de la membrana. Se producen siempre a favor del gradiente de concentración; es decir, donde existe mayor concentración hacia el medio donde la concentración es menos. Este transporte puede dar mediante difusión simple y difusión facilitada.

Difusión simple: es el paso de pequeñas moléculas a favor del gradiente de concentración; puede realizarse a través de la bicapa lipídica o a través de canales proteicos. La difusión simple a través de la bicapa es propio de las hormonas esteroides (moléculas lipídicas), el éter (anestésico) y fármacos liposolubles; también de sustancias apolares como oxígeno y nitrógeno. Algunas moléculas polares como el agua, el dióxido de carbono, el etanol y la glicerina, atraviesan la membrana mediante este tipo de difusión simple.

La ósmosis es un tipo de difusión donde, el principal solvente en los sistemas biológicos, las moléculas de agua, pasan a través de una membrana semipermeable desde una región donde existe una mayor concentración de estas moléculas, a otra de menor concentración.

Si la solución que rodea a las células contiene una concentración mayor de sustancias disueltas (solutos) que es la correspondiente al interior de la célula, la solución tiene una presión osmótica mayor que está y se denomina hipertónica. Una célula colocada en esta solución se encoge al perder agua. La ósmosis se efectúa en este caso del interior hacia el exterior de la célula, debido a que en el interior de la célula hay mayor concentración de moléculas de agua que en el exterior. Cuando las células se encuentran rodeadas de una solución isotónica, la ósmosis se lleva a cabo a la misma velocidad tanto de adentro hacia afuera, como de afuera hacia el interior de la célula.

Si la solución que rodea a las células contiene una concentración menor de soluto que la que tienen en su interior las células, la solución tiene una presión osmótica menor y se dice que es hipotónica con respecto al interior de la célula. La célula colocada en este tipo de soluciones, aumenta de tamaño, es decir, presentan turgencia debido a que se realiza la ósmosis, pero en este caso es del exterior de las células hacia el interior.

Difusión simple a través de canales. Se lleva a cabo mediante las proteínas de canal, estas proteínas poseen un orificio o canal interno cuya apertura está regulada por ligandos (hormonas o neurotransmisores) que se unen a una determinada región de la proteína de canal para que presente una transformación estructural que provoca la apertura del canal. de esta forma en los iones de sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca) y cloro (Cl).

Difusión facilitada. Permite el transporte de pequeñas moléculas polares: aminoácidos, monosacáridos, etc., que al no poder atravesar la bicapa lipídica, requieren que proteínas transmembranales faciliten su paso. Estas, se denominan proteínas transportadoras que al unirse a la molécula por transportar, presentan un cambio en su estructura que arrastra a dicha molécula hacia el interior de la célula. La proteína transportadora acelera la velocidad a la cual el soluto atraviesa la membrana plasmática hacia un área de concentración menor.

Transporte activo. En este tipo de transporte también intervienen proteínas de membrana transportadora, pero éstas requieren energía en forma de ATP para poder transportar las moléculas al otro lado de la membrana, por lo tanto este transporte se realiza en contra del gradiente electroquímico. La bomba de sodio potasio (Na/K) es un ejemplo de transporte activo. Esta bomba requiere una proteína que bombea 3 iones de sodio (3Na) hacia el exterior de la membrana y dos iones de potasio (2K) hacia el interior. Esta proteína actúa contra el gradiente de concentración, gracias a su actividad enzimática como ATPasa, y se rompe el ATP para obtener la energía necesaria para el transporte y genera ADP + P (adenosín- difosfato + fosfato).

Transporte de moléculas de elevado peso molecular. Algunas sustancias pueden entrar o salir de la célula. Las moléculas grandes, partículas de alimento e incluso células pequeñas, también se mueven hacia el interior y exterior de la célula, por medio de endocitosis y la exocitosis, mecanismos que requieren un gasto directo de energía por parte de las células.

En la fagocitosis (ingestión de células) la célula engulle partículas sólidas grandes que le sirven de alimento, éstas pueden ser bacterias, protozoarios, etc. La fagocitosis la utilizan los protistas, como las amebas, para ingerir alimentos. Los glóbulos blancos también ingieren bacterias y otras partículas mediante la fagocitosis. Durante la ingestión, la partícula que no se ha unido a la superficie de la célula, se rodea de membrana plasmática y se forma un saco membranoso o vacuola llamado fagosoma. Cuando la membrana envuelve por completo a la partícula, ésta se fusiona con el punto de contacto y se produce un estrangulamiento de la membrana. Enseguida, la vacuola se fusiona con lisosomas que vierten potentes enzimas hidrolíticas sobre el material ingerido.

En la pinocitosis que significa “células bebiendo”, la célula capta materiales disueltos. En este tipo de endocitosis, los pliegues de la membrana plasmática atrapan microgotas de líquido que se desprenden en el citoplasma como diminutas vesículas, luego, el contenido líquido de estas se transfiere lentamente al citosol, y las vesículas pinocíticas van disminuyendo de tamaño.

En la endocitosis mediada por receptor, moléculas específicas (que a entrar a la célula), se combinan con proteínas incluidas en la membrana plasmática. Este tipo de endocitosis es el mecanismo principal por el cual las células eucariotas captan macromoléculas.

El transporte de moléculas grandes hacia el exterior de la célula se lleva a cabo mediante la exocitosis y la transcitosis.

En la exocitosis, una célula expulsa productos de desecho o específicos de secreción. El mecanismo mediante el cual se realiza es por medio de vesículas intracelulares que se fusionan desde el lado interno de la membrana plasmática y su contenido se libera al exterior.

Este proceso de exocitosis da lugar a la incorporación de la membrana de la vesícula secretora a la membrana plasmática en el momento que el contenido de la vesícula es liberado, de esta manera la membrana plasmática recupera su tamaño, ya la endocitosis disminuye su tamaño. .

En la transcitosis ocurren un conjunto de fenómenos que permiten a una sustancia atravesar todo el citoplasma celular de un polo a otro de la célula, implica el doble proceso endocitosis- exocitosis. Este mecanismo es propio de las células endoteliales que revisten los capilares sanguíneos, transportándose así las sustancias desde el medio sanguíneo hasta los tejidos que rodean a los capilares.

**Anexo 3.** Lectura: Las paredes celulares y los mucilagos de las algas.

## Las paredes celulares y los mucilagos de las algas <sup>3</sup>

Lee (2008)

En general, las paredes celulares de algas están formadas por dos componentes: (1) el componente fibrilar, que forma el esqueleto de la pared, y (2) el componente amorfo, que forma una matriz dentro de la cual está incrustado el componente fibrilar.

El tipo más común de componente fibrilar es la celulosa, un polímero de 1,4  $\beta$ -D-glucosa. La celulosa es reemplazada por un manano, un polímero de 1,4  $\beta$ -D-manosa, en algunas sifonáceas verdes, y en *Porphyra* y *Bangia* en la Rhodophyta. En algunas algas verdes sifonáceas y en algunas Rhodophyta (*Porphyra*, *Rhodochorton*, *Laurencia* y *Rhodymenia*), se producen xilanos fibrilares de diferentes polímeros.

Los componentes mucilaginosos amorfos se encuentran en mayores cantidades en las Phaeophyceae y Rhodophyta, cuyos polisacáridos se explotan comercialmente. El ácido algínico es un polímero compuesto principalmente por residuos de ácido  $\beta$ -1,4 D-manurónico con cantidades variables de ácido L-gulurónico. El ácido algínico está presente en los espacios intercelulares y en las paredes celulares de las Phaeophyceae. La fucoidina también se encuentra en las Phaeophyceae y es un polímero de  $\alpha$ -1, 2,  $\alpha$ -1, 3, y  $\alpha$ -1, 4 enlaces de residuos de L-fucosa sulfatada en C-4. En la Rhodophyta el componente amorfo de la pared está compuesto por galactanos o polímeros de galactosa, que están alternativamente unidos entre  $\beta$ -1,3 y  $\beta$ -1,4. Estos galactanos incluyen agar (compuesto de agaropectina y agarosa) y carragenina.

### Cyanobacteria

Pared celular y deslizamiento.

La pared celular de las cianobacterias es básicamente la misma que la pared celular de las bacterias Gram-negativas. Una capa de peptidoglicano está fuera de la membrana celular (Fig. 1). El peptidoglicano es un enorme polímero compuesto de dos derivados de azúcar, N-acetilglucosamina y ácido N-acetilmurámico, y varios aminoácidos diferentes. Fuera del peptidoglicano hay un espacio periplásmico, probablemente lleno de una red suelta de fibrillas de peptidoglicano. Una membrana exterior rodea el espacio periplásmico.

Algunas cianobacterias son capaces de deslizarse, es decir, *el movimiento activo de un organismo sobre un sólido sustrato donde no hay un órgano visible responsable del movimiento ni un cambio evidente en la forma del organismo* (Jarosch, 1962). El deslizamiento es un movimiento lento y uniforme (hasta 600  $\mu\text{m s}^{-1}$  en *Oscillatoria*; Bhaya, 2004) en una dirección paralela al eje largo de la célula y ocasionalmente es interrumpido por cambios de dirección. El deslizamiento es acompañado de una constante secreción de limo, que queda atrás como un rastro mucilaginoso. Algunas cianobacterias (*Phormidium*, *Oscillatoria*) rotan durante el deslizamiento mientras otras cianobacterias (*Anabaena*) no rotan.

La pared celular de las bacterias deslizantes tiene dos capas fuera de la pared celular (Figs. 2 y 3). Una capa externa dentada (capa S) y una capa de fibras similares a pelos se producen fuera de la membrana externa de la pared celular de las cianobacterias deslizantes. Las fibras capilares de la capa más externa

---

<sup>3</sup> Lee, R. E. (2008). *Phycology*. United States of America by Cambridge University Press, New York.

están compuestas de una glicoproteína en forma de varilla llamada oscilina (Hoiczky y Baumeister, 1998; Hoiczky, 2000).

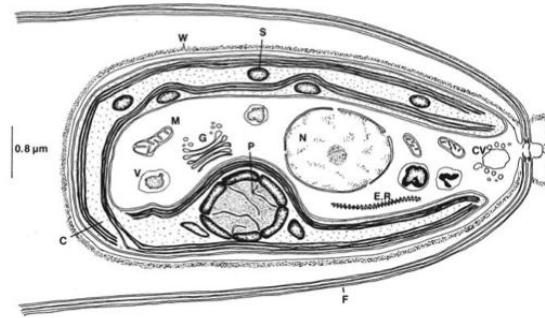


Figura 1. Dibujo de una célula del alga verde *Chlamydomonas* que muestra los orgánulos presentes en una célula de algas eucarióticas. (C) cloroplasto; (CV) vacuola contráctil; (E.R.) retículo endoplásmico; (F) flagelos; (G) cuerpo de Golgi; (M) mitocondria; (N) núcleo; (P) pirenoide; (S) almidón; (V) vacuola; (W).

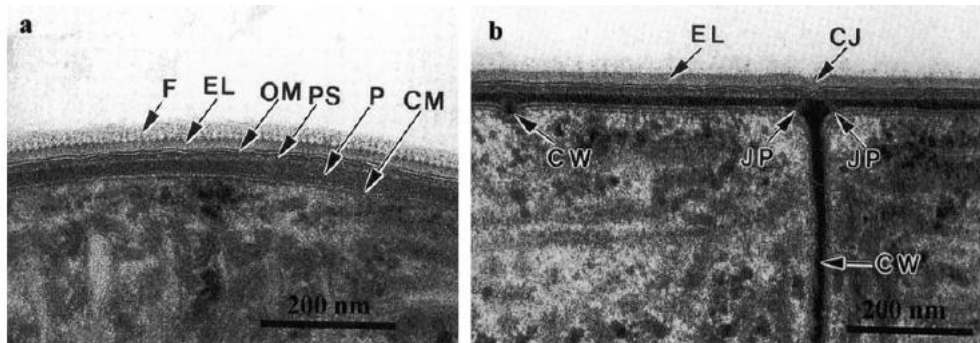


Figura 2. Micrografías electrónicas de transmisión de secciones de la pared de la cianobacteria *Phormidium uncinatum*. La pared celular (CW) contiene capas similares a las de una bacteria Gram-negativa, por ejemplo, la membrana citoplásmica (CM), las capas de peptidoglycano (P), el espacio periplásmico (PS) y la membrana externa (OM). Además, la cianobacteria contiene las dos capas externas adicionales típicas de una célula móvil, la capa externa dentada (EL) y las fibras similares al cabello (F). (CJ) Unión circunferencial; (JP) poro de unión. (De Hoiczky y Baumeister, 1995.)

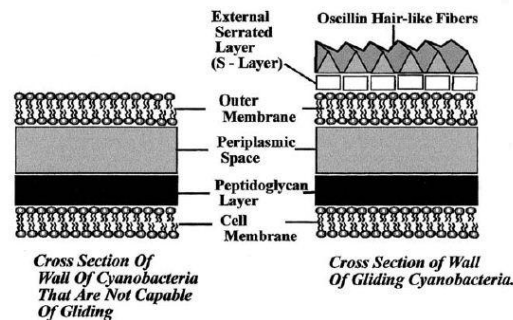


Figura 3. Secciones transversales de una pared de una cianobacteria que no es capaz de deslizarse y una sección transversal de una pared de una cianobacteria que es capaz de deslizarse. Las cianobacterias que pueden deslizarse tienen dos capas de pared adicionales en el exterior. (De Hoiczky y Baumeister, 1995).

## Rhodophyceae

### Paredes celulares

La celulosa forma el marco microfibrilar en la mayoría de las paredes celulares de rodophycean, aunque en la fase haploide de Bangiales (*Bangia* y *Porphyra*) un xilano unido a  $\beta$ -1,3 (polisacárido compuesto por residuos de xilosa) realiza esta función (Frei y Preston, 1964). Las algas rojas unicelulares tienen una matriz amorfa de polisacáridos sulfatados sin celulosa que rodea las células (Arad et al., 1993). Los polisacáridos o mucílagos amorfos se producen entre las microfibrillas de celulosa en el resto de las algas rojas. Los dos grupos más grandes de mucílagos amorfos son los agars y los carragenanos. Estos mucílagos pueden constituir hasta el 70% del peso seco de la pared celular. Las cutículas, compuestas principalmente de proteínas, pueden aparecer fuera de la pared celular (Craigie et al., 1992).

### Calcificación

Todos los miembros de los Corallinales y algunos de los Nemaliales (*Liagora* y *Galaxura*) depositan  $\text{CaCO}_3$  extracelularmente en las paredes celulares. El carbonato de calcio anhidro se presenta en dos formas cristalinas, calcita (romboidal) y aragonita (ortorrómbica). Las dos formas difieren notablemente en gravedad específica, dureza y solubilidad (Fig. 4). Los Corallinales depositan  $\text{CaCO}_3$  principalmente como calcita, mientras que los miembros calcificados de los Nemaliales depositan  $\text{CaCO}_3$  principalmente como aragonita. En *Liagora* (Nemaliales), la aragonita se presenta como cristales en forma de aguja en la pared, mientras que en los Corallinales, la calcita se presenta como depósitos masivos (Borowitzka et al., 1974). Las paredes calcificadas de las células vivas probablemente tienen un componente mucilaginoso que ralentiza la pérdida de  $\text{Ca}^{2+}$  en el medio (Pearse, 1972). Si se mata un talo calcificado, la dispersión de la pared calcificada se acelera enormemente .

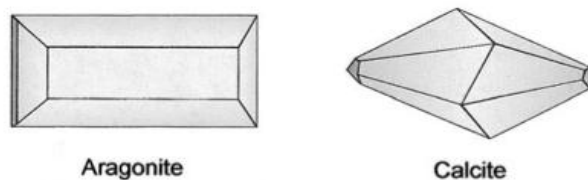


Figura 4. La estructura cristalina de aragonita y calcita.

Los rodolitos son nódulos biogénicos no unidos (producidos a partir de organismos vivos) compuestos al menos en parte por algas rojas calcificadas. Un rodolito comienza como un núcleo central compuesto de una piedra o fragmento de coral. Las algas coralinas no articuladas se unen al núcleo y crecen. La forma del rodolito está determinada por su entorno, siendo a menudo generalmente esférica debido al volcamiento frecuente debido al movimiento del agua. Los rodolitos pueden alcanzar los 30 cm de diámetro y tener 500–800 años. Se pueden usar secciones de rodolitos que revelan las bandas de las algas rojas coralinas para determinar el ambiente en el momento de la deposición de la pared (Halfar et al., 2000).

Los esqueletos de algas coralinas se forman con poco control biológico, por impregnación de las paredes celulares con magnesio y calcio en una proporción similar al  $\text{Mg} / \text{Ca}$  en el agua. Por lo tanto, la relación  $\text{Mg} / \text{Ca}$  en las paredes celulares refleja la relación  $\text{Mg} / \text{Ca}$  en el agua. El análisis de la relación  $\text{Mg} / \text{Ca}$  en las paredes celulares de las algas rojas coralinas fósiles desde el comienzo de la Era Paleozoica ha demostrado que ha habido épocas de "mares de aragonita" con  $\text{Mg}$  relativamente alto en agua de mar, lo que resulta en algas coralinas con paredes celulares que contienen altas cantidades de  $\text{Mg}$  de calcita y

aragonita, y tiempos de “mares de calcita” con agua de mar relativamente baja en Mg, lo que resulta en algas coralinas con calcita baja en Mg (Stanley et al., 2002). Las diferencias en las relaciones Mg / Ca en el agua de mar se deben a cambios en las tasas de dispersión en el medio del océano.

## Chlorophyta

Las paredes celulares generalmente tienen celulosa como el principal polisacárido estructural, aunque los xilanos o mananos a menudo reemplazan la celulosa en los Caulerpales (Huizing et al., 1979). Las algas primitivas en las Prasinophyceae tienen escamas extracelulares, o una pared derivada de escamas entrelazadas, compuestas de polisacáridos ácidos (Becker et al., 1996). Las algas en los Volvocales tienen paredes compuestas de glucoproteínas (Goodenough y Heuser, 1985) (Fig. 5).

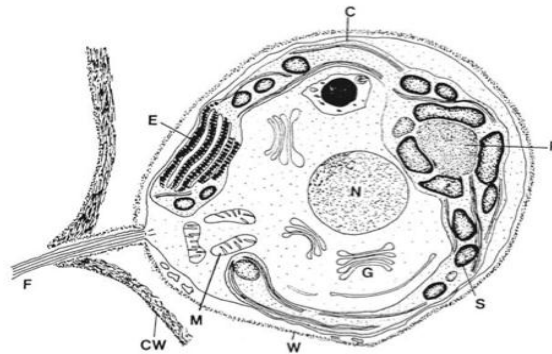


Figura 5. Dibujo semiagramático de una célula en una colonia vegetativa *Volvox*. La pared de la colonia (CW) es distinta de la pared celular (W). (C) cloroplasto; (E) mancha ocular; (F) flagelo; (G) Golgi; (M) mitocondria; (N) núcleo; (P) pirenóide; (S) almidón (Adaptado de Pickett-Heaps, 1970).

## Phaeophyceae

Las paredes celulares de Phaeophyceae generalmente están compuestas de al menos dos capas, con celulosa que constituye el esqueleto estructural principal (Kloareg y Quatrano, 1988). El componente amorfo de la pared celular está compuesto de ácido algínico y fucoidina, mientras que el mucílago y la cutícula están compuestos principalmente de ácido algínico (Evans y Holligan, 1972a; Vreeland, 1972). El ácido algínico se compone básicamente de unidades de ácido manurónico  $\beta$ -1,4 unidas que tienen una cantidad variable de unidades de ácido gulurónico unidas a través de enlaces C-1 y C-4. La fucoidina se compone principalmente de unidades de fucosa sulfatada  $\alpha$ -1,2 unidas, con una cantidad menor de unidades de fucosa sulfatada  $\alpha$ -1,4 unidas. Las cantidades relativas de ácido algínico y fucoidina varían entre especies, diferentes partes de la planta y diferentes ambientes.

La calcificación de la pared ocurre solo en algunas especies de *Padina* donde el carbonato de calcio se deposita como cristales de aragonita en forma de aguja en bandas concéntricas en la superficie del tallo en forma de abanico (Borowitzka et al., 1974).

Las Phaeophyceae parenquimatosas tienen plasmodesmos o poros entre la mayoría de las células. Estos poros están delimitados por el plasmalema, y el protoplasma es continuo de una célula a la siguiente a través de ellos. En los Laminariales, Fucales y Dictyotales, los poros se agrupan en áreas de fosas primarias, mientras que en las Phaeophyceae parenquimatosas más primitivas los plasmodesmos se encuentran dispersos en la pared celular (Bisalputra, 1966; Bourne y Cole, 1968; Cole, 1970).

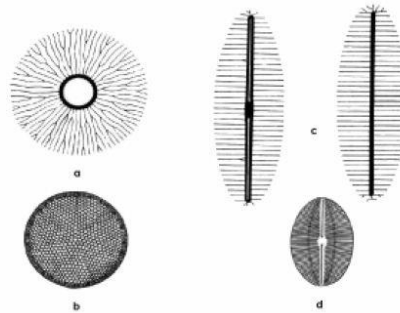


**Anexo 4.** Lectura: Pared celular en bacillariophyceae.

## Pared celular en bacillariophyceae <sup>4</sup>

Carmona et al. (2004)

Los miembros de Bacillariophyceae presentan una pared celular distinta a la del resto de los grupos algales, por lo que se ha designado una nomenclatura especial: las diatomeas son separadas en dos grupos con base en su simetría: **Centrales** (simetría radial) y **Pennales** (simetría bilateral).



a) centrales; b) Orthoseira sp.; c) pennales; d) Navicula sp.

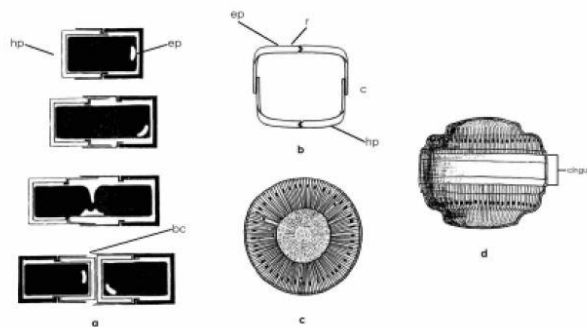
**Frústulo:** pared celular impregnada de sílice que forma una bivalva. Si imaginamos una caja de Petri, la base se denomina **hipoteca** o **hipovalva** y la parte sobrepuesta o tapadera se denomina **epiteca** o **epivalva**.

**Valva:** cada una de las dos mitades del frústulo.

**Vista valvar:** vista del plano de alguna de las valvas.

**Cíngulo:** en diatomeas, es una banda que mantiene unidas a las valvas integrada por bandas singulares. En dinoflagelados, surco donde se inserta un flagelo.

**Vista cingular (conectiva):** vista lateral donde se aprecia la unión de las dos valvas.



a) formación del frústulo; b) estructuras del frústulo; c) vista valvar; d) vista cingular o conectiva  
ep = epivalva, hp = hipovalva, c = cíngulo, r = rafe, bc = bandas cingulares

**Estría:** ornamentación valvar, fila de puntos (pequeños poros) que corren a lo largo de la valva.

**Espina:** ornamentaciones del frústulo que permiten la unión entre valvas.

**Costilla:** engrosamientos longitudinales en la valva que pueden formar cámaras en su interior.

<sup>4</sup> Carmona J. J., Hernández M. M. A., y Ramírez V. M. (2004). *Algas. Glosario ilustrado*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ciencias. México. Recuperado el 19 de julio, 2019 de:

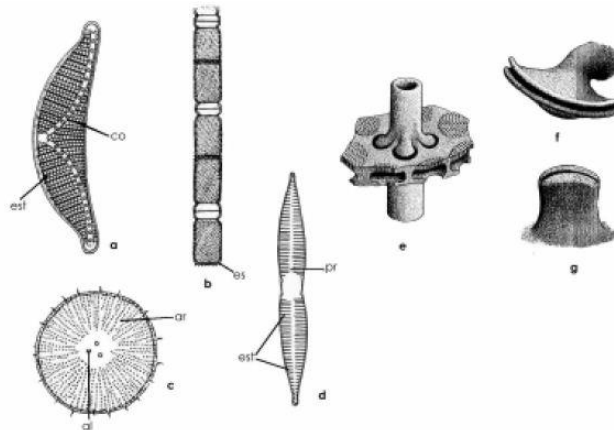
<http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/177709/2004%20Carmona%2C%20J.%20Libro%20-%20Glosario%20Algas.pdf?sequence=2>

**Areolas:** relieves de la pared de las diatomeas que consisten en áreas delgadas rodeadas por crestas de material silíceo y provistas de un gran número de poros diminutos.

**Alveolos:** engrosamientos longitudinales huecos, con aberturas en ambos extremos.

**Fultopórtula (procesos reforzados):** consiste en la formación de un tubo desde el citoplasma hacia la superficie con 2-5 poros satelitales. Por esta pórtula secretan una sustancia mucilaginosa que les permite unirse a otras células o al sustrato.

**Rimopórtula (procesos labiados):** consiste en un tubo desde el citoplasma hacia la superficie sin poros satelitales; por donde secretan un mucílago para adherirse al sustrato o a otras células.



a) *Ephitemia* sp.; b) *Aulacoseira* sp.; c) *Orthoseira* sp.; d) *Fragilaria* sp.;  
 e) fultopórtula (proceso reforzado); f y g) rimopórtula (proceso labiado)  
 co = costilla, est = estría, es = espinas, ar = areolas, al = alveolo, pr = pseudorafe

Simetría y ornamentaciones en diatomeas pennales

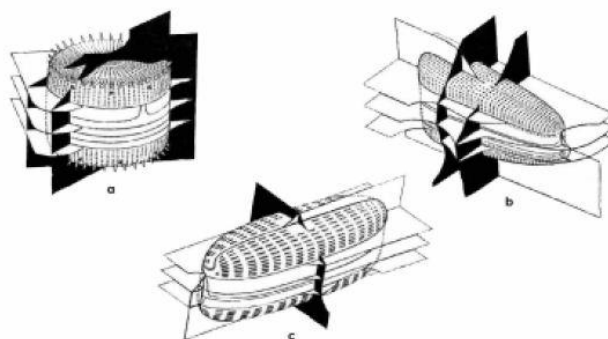
**Simetría bilateral:** las valvas pueden ser divididas en dos mitades por un solo plano longitudinal, de tal modo que las dos mitades forman imágenes especulares aproximadamente. Se presenta en diatomeas pennales.

**Simetría heteropolar:** que pueden ser divididas en dos mitades por un solo plano transversal, de tal modo que las dos mitades muestran polos diferentes. Se presenta en diatomeas pennales.

**Simetría isopolar:** que pueden ser divididas en dos mitades por un solo plano transversal, de tal modo que las dos mitades muestran polos similares. Se presenta en diatomeas pennales.

**Rafe:** es una hendidura longitudinal más o menos compleja que se observa únicamente en las valvas de las diatomeas pennadas. La rafe se puede dividir en dos ramas separadas por un **nódulo central** grueso que se interna en la valva y por un **nódulo polar** en los extremos.

**Pseudorafe:** en diatomeas pennadas es una línea mediana axial hialina que interrumpe las estrías o costillas.



a) simetría radial; b) simetría isopolar; c) simetría bilateral

## Anexo 5. Actividad de laboratorio: Observación de diatomeas.

### Observación de diatomeas

#### Introducción<sup>1</sup>

Las Bacillariophyceae o las diatomeas probablemente evolucionaron de un miembro escamoso de Chrysophyceae (similar a los organismos en Parmales) o Bolidophyceae (Guillou et al., 1999). Las diatomeas son algas unicelulares, a veces coloniales, que se encuentran en casi todos los hábitats acuáticos como autótrofos fotosintéticos de vida libre, heterótrofos incoloros o simbiontes fotosintéticos (Schmaljohann y Röttger, 1978). Pueden presentarse como plancton o perifiton, y la mayoría de las películas de color verde pardusco sobre sustratos como rocas o plantas acuáticas están compuestas por diatomeas adheridas. Las células están rodeadas por una pared celular rígida en forma de caja de dos partes compuesta de sílice, llamada frústula. Los cloroplastos contienen clorofilas a, c1 y c2, siendo el principal carotenoide la fucoxantina marrón dorada, que da a las células su color característico (Figs. 1 y 2).

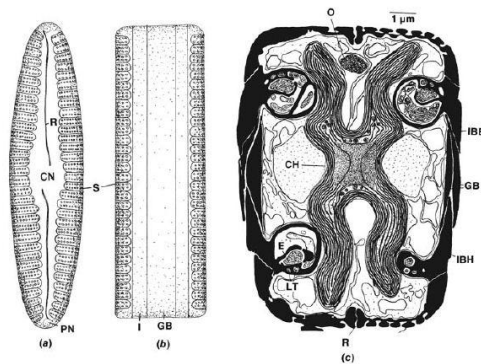


Figura 1. Dibujo microscópico óptico de la válvula (a) y el cinturón (b) vistas de la diatomea Mastogloia. (c) Dibujo de una sección transversal de *M. grevillei* en el microscopio electrónico de transmisión. (Ch) cloroplasto; (CN) nódulo central; (E) cámara alargada de un tabique; (GB) faja; (I) banda intercalar; (IBE) banda intercalar de la epiteca; (IBH) banda intercalar de la hipoteca; (LT) túbulo lóculo; (O) aceite; (R) rafe; (S) estría. ((c) adaptado de Stoermer et al., 1965.)

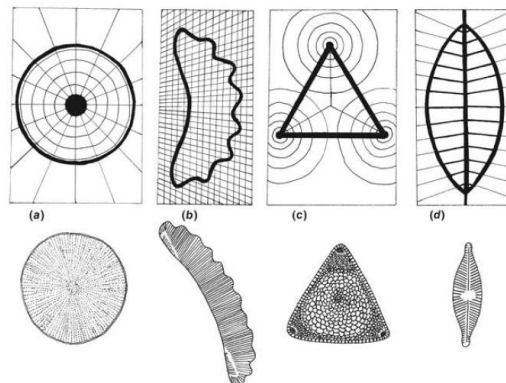


Figura 2. Los patrones básicos de ornamentación en las Bacillariophyceae. (a) Céntrico y radial (ejemplo Coscinodiscus). (b) Trellisoid, con estructura dispuesta de margen a margen (ejemplo Eunotia). (c) Gonoide, con estructura sostenida por ángulos (ejemplo Triceratium). (d) Pennate, simétrico alrededor de una línea apical (ejemplo Navicula) (Después de Hendey, 1964.)

<sup>1</sup> Lee, R. E. (2008). *Phycology*. United States of America by Cambridge University Press, New York.

**Objetivo:**

- Observar diatomeas con énfasis en las formas que les proporcionan sus paredes celulares.

**Material biológico:**

- Muestras de agua estancada (pecera, florero, etc.)

**Material diverso:**

- Gotero
- Porta y cubreobjetos
- Caja Petri
- Aceite de inmersión
- Lugol

**Equipo:** Microscopio compuesto de campo claro.

**Procedimiento**

En caso de conseguir el agua en una pecera, se recomienda raspar las paredes para obtener mejores resultados. Si el agua se obtiene de un florero se recomienda colocar cuadritos de papel celofán (1cm x 1cm) un días antes y cuando se tome la muestra incluirlos, además extraer el agua directa de las raíces o tallos.

Colocar una gota de agua sobre el portaobjetos, cubrir y observar a diferentes objetivos (empezar en 4x para hacer un barrido general de lo contenido en la muestra y después acercar los objetivos hasta 100x con aceite de inmersión). En caso de contar con los cuadritos de celofán, deben tomarse con las pinzas de disección y colocarse los húmedos posibles sobre el portaobjetos y cubrir.

Debe repetirse varias veces el procedimiento con diversas muestras para obtener mayores resultados. También se recomienda aplicar una gota de lugol a algunas muestras para fijar los organismos y sea más fácil su visualizarlos.

**Resultados**

Elaborar esquemas o tomar evidencia fotográfica de diferentes muestras poniendo especial atención en las formas de las paredes celulares e indicar el objetivo (10X, 40X, 100X) al que fueron hechas las observaciones.

**Discusión**

Se recomienda discutir sobre las formas que se generan a partir de la composición de las paredes celulares de las diatomeas en comparación con otras algas microscópicas como las cianobacterias.



## ESTRATEGIA DIDÁCTICA 4

### Forma y movimiento. *Flagelos algales.*



#### I. DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología I
SEMESTRE ESCOLAR	Tercer Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

#### II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 2. ¿Cuál es la unidad estructural y funcional de los sistemas biológicos?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo:</b> Identificará las estructuras y componentes celulares a través del análisis de la teoría celular para que reconozca a la célula como la unidad estructural y funcional de los sistemas biológicos.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos:</b> Identifica que el citoesqueleto, cilios y flagelos son componentes celulares que proporcionan forma y movimiento. <b>Aprendizajes operativos:</b> 1. Reconoce el citoesqueleto, los cilios y flagelos como componentes celulares. 2. Identifica la forma y movimiento que le proporciona el citoesqueleto, los cilios y flagelos. 3. Ejemplifica variantes de forma y movimiento en algas unicelulares.
TEMA(S)	Temática 2. Estructura y función celular ● Forma y movimiento

#### III. ESTRATEGIA

Las actividades de esta estrategia buscan que los estudiantes reconozcan las estructuras que dan forma y movimiento a las células como el citoesqueleto (filamentos de actina, microtúbulos y filamentos intermedios), los cilios y los flagelos. Lo anterior a través de actividades individuales, grupales y en

equipo, como: investigación bibliográfica, elaboración de esquemas representativos, exposición, actividad de laboratorio enfocada a la observación de flagelos en algas y la presentación de sus resultados por medio de imágenes (Chlamydomonas y euglenoides).

#### IV. SECUENCIA

<b>TIEMPO DIDÁCTICO</b>	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
<b>DESARROLLO Y ACTIVIDADES</b>	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)</p> <p>Los estudiantes realizarán una investigación sobre las estructuras celulares que le proporcionan forma y movimiento a las mismas. Deberán registrar la información en sus respectivos cuadernos, además anexarán imágenes alusivas a sus hallazgos.</p> <p>De apertura (1 hora)</p> <p>En clase los estudiantes se organizarán en cinco equipos y leerán las lecturas de los anexos 1 Lectura <i>Citoesqueleto</i> y 2 Lectura Cilios y flagelos. Al finalizar, cada equipo será responsables de uno de los cinco subtemas relacionados con las estructuras que dan forma y movimiento a la célula. Por un lado tres equipos verán estructuras del citoesqueleto: filamentos de actina, microtúbulos, filamentos intermedios (un subtema por equipo). Por otro lado dos equipos verán cilios y flagelos (un subtema por equipo). Cada equipo reconocerá las características de la estructura que le tocó y preparará un esquema (imagen dibujo), con el que posteriormente expondrán ante el resto del grupo.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Cada equipo contará con aproximadamente diez minutos para exponer lo acordado anteriormente. El profesor debe estar atento a los comentarios y dudas que surjan para que la actividad fluya con respeto y retroalimentación.</p> <p>(2 horas)</p> <p>Revisar de manera grupal la lectura del anexo 3 Lectura: Estructuras de locomoción de las algas, como introducción al tema.</p> <p>Se llevará a cabo la actividad de laboratorio indicada en el anexo 4 (Observación de flagelos en euglenoides), para que los estudiantes tengan la oportunidad de reconocer diferentes tipos de flagelos en las algas.</p> <p>Es importante que los estudiantes tomen registro fotográfico de sus observaciones ya que se utilizarán en la siguiente actividad.</p>

	<p><b>Actividades de cierre:</b> (1 hora)</p> <p>Los estudiantes elegirán una imagen derivada de la actividad de laboratorio para compartirla con el resto del grupo e indicar el tipo de flagelo encontrado. La imagen puede ser compartida con proyección digital o bien en ampliación física, según lo elija cada estudiante.</p>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b>	<p>Recursos bibliográficos o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Aula-laboratorio de trabajo. Pizarrón y gises de colores o pintarrón y marcadores.</p> <p>Anexo 1. Lectura: Citoesqueleto.</p> <p>Anexo 2. Lectura: Cilios y flagelos.</p> <p>Anexo 3. Lectura: Estructuras de locomoción de las algas.</p> <p>Anexo 4. Actividad de laboratorio: Observación de flagelos en euglenoides.</p> <p>Los materiales de exposición de esquemas de las lecturas y materiales de presentación de imágenes de la actividad e cierre, serán elegidos por los estudiantes.</p>
<b>EVALUACIÓN</b>	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se juntaran puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b></p> <p>Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto</p> <p>Actividad de inicio (apertura): esquema representativo por equipo.....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b></p> <p>Primera actividad de desarrollo: exposición por equipo.....2 puntos</p> <p>Segunda actividad de desarrollo: actividad de laboratorio en equipo.....3 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b></p> <p>Presentación individual de imágenes.....3 puntos</p> <p>La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.</p>

## V. REFERENCIAS DE APOYO

<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.</b>	Megías M., Molist, P. y Pombal M. A. (2015). Atlas de histología vegetal y animal. La célula. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo: España. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <a href="http://webs.uvigo.es/mmegias/inicio.html">http://webs.uvigo.es/mmegias/inicio.html</a>
<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR</b>	Dreckmann, K. M., Senties, A. y Nuñez, M. L. (2013). Manual de prácticas de laboratorio. Biología de Algas. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa: México. Lee, R. E. (2008). <i>Phycology</i> . United States of America by Cambridge University Press, New York.
<b>COMENTARIOS ADICIONALES</b>	Es responsabilidad del docente conocer la bibliografía recomendada para los estudiantes.



## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Lectura: Citoesqueleto.

**Anexo 2.** Lectura: Cilios y flagelos.

**Anexo 3.** Lectura: Estructuras de locomoción de las algas.

**Anexo 4.** Actividad de laboratorio: Observación de flagelos en euglenoides.



## Citoesqueleto <sup>2</sup>

Megías et al. (2015)

El interior de la célula eucariota posee una organización interna establecida por una serie de filamentos proteicos que forman un entramado dinámico y se extienden a través del citoplasma, sobre todo entre el núcleo y la cara interna de la membrana celular, aunque también los hay intranucleares. A esta matriz proteica y fibrosa se la denomina citoesqueleto. El citoesqueleto es una estructura muy cambiante, no es sólo los huesos de las células sino también sus músculos. Así, es vital para que las células se puedan mover, para establecer la forma celular, para la disposición adecuada de los orgánulos, para la comunicación entre ellos, para los procesos de endocitosis y exocitosis, para la división celular (tanto meiosis como mitosis), para resistir presiones mecánicas y reaccionar frente a deformaciones, entre otras muchas más. Se han encontrado proteínas homólogas al citoesqueleto en células procariotas.

Hay tres grandes tipos de filamentos que forman el citoesqueleto: los filamentos de actina o microfilamentos, los microtúbulos y los filamentos intermedios (Fig. 1). Los filamentos de actina, polímeros cuya unidad repetida es la proteína actina, son los principales responsables de los movimientos celulares, de los procesos de endocitosis y fagocitosis. Son los que producen la contracción de las células musculares, también ayudan a la cohesión celular puesto que contactan con estructuras como las uniones adherentes y con las uniones estrechas, ambas complejos de unión que unen a las células entre sí. Se denominan microfilamentos porque su diámetro es menor que el de los otros componentes del citoesqueleto. Los microtúbulos, son tubos cuyas paredes están formadas por repeticiones de dímeros de dos proteínas:  $\alpha$ - y  $\beta$ -tubulina. Estos filamentos son indispensables para el desplazamiento intracelular de orgánulos y vesículas, forman el esqueleto de cilios y flagelos, permiten la segregación de cromosomas durante la división celular, etcétera. Tanto los filamentos de actina como los microtúbulos necesitan la ayuda de una proteínas denominas motoras para llevar a cabo sus funciones y se comportan como los motores capaces de crear movimiento. Estas proteínas arrastran cargas siguiendo la senda de los filamentos de actina o de los microtúbulos. Los filamentos intermedios son los responsables de mantener la integridad celular puesto que funcionan a modo de cables intracelulares que se enganchan a complejos de unión como los desmosomas y los hemidesmosas, lo que permite la cohesión entre células contiguas y por tanto la cohesión celular. Son especialistas en resistir tensiones mecánicas y deformaciones celulares. Al contrario que los otros componentes del citoesqueleto, los filamentos intermedios son polímeros formados por unidades pertenecientes a varias familias de proteínas entre las que se encuentran las queratinas, las vimentinas, las láminas de la envuelta nuclear, etcétera.

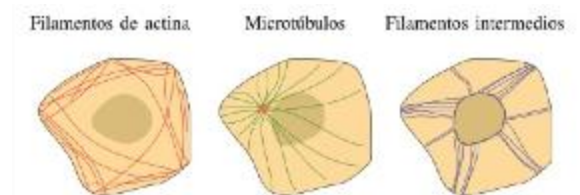


Figura 1. Esquema de la distribución celular de los tres principales componentes del citoesqueleto de una célula animal. Los filamentos de actina se disponen sobre todo en las proximidades de la membrana, los microtúbulos adoptan una disposición radial partiendo desde el centrosoma, mientras que los filamentos intermedios se

<sup>2</sup> Megías M., Molist, P. y Pombal M. A. (2015). Atlas de histología vegetal y animal. La célula. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo: España.

anclan a complejos de unión de la membrana plasmática y también aparecen en el interior del núcleo. Hay que tener en cuenta que estas distribuciones pueden variar según el tipo celular, y es muy diferente en las células vegetales.

## FILAMENTOS DE ACTINA

En las células animales se encuentran normalmente localizados cerca de la membrana plasmática. Se forman por la polimerización de dos tipos de proteínas globulares: alfa y beta actina. La beta actina es la más frecuente y aparece en la mayoría de las células animales. Su secuencia de aminoácidos difiere ligeramente de la alfa actina, la cual abunda en el músculo. La actina es una proteína citosólica muy abundante, aproximadamente el 10% del total de las proteínas citosólicas. Una proporción de esas moléculas de actina se encuentra formando parte de los filamentos (F-actina) y el resto son proteínas no polimerizadas (G-actina), disueltas en el citosol. Estas proporciones varían según las necesidades celulares, es decir, el número y la longitud de los filamentos de actina cambia por polimerización y despolimerización.

Grandes avances en el conocimiento de la funcionalidad de la actina se han basado en la utilización que hacen de ella ciertos patógenos para llevar a cabo las infecciones celulares.

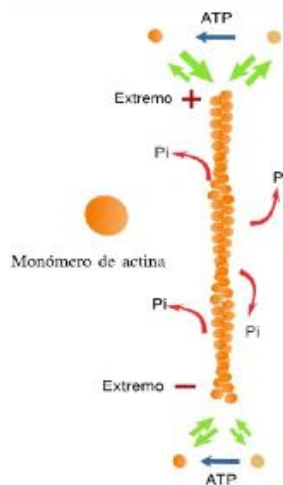


Figura 2. Esquema de un filamento de actina donde se muestra como las moléculas de actina se disponen en forma helicoidal. Es una estructura polarizada donde las constantes de asociación y disociación de la actina es diferente en los dos extremos (flechas verdes), aunque en ambos siempre es mayor la constante de asociación para la molécula de actina unida al ATP. Una vez polimerizada, se hidroliza el ATP de la molécula de actina liberando Pi y quedando por lo tanto el ADP unido a la molécula de actina.

Estructura. Los filamentos de actina poseen unos 7 nm de diámetro. Es el valor más pequeño dentro de los filamentos que componen el citoesqueleto, por ello también se denominan microfilamentos. Poseen un extremo más y otro menos, es decir, son filamentos polarizados. Ello es consecuencia de la disposición ordenada de las moléculas de actina en el filamento, siempre se ensamblan con la misma orientación. El extremo más se denomina así porque en él predomina la polimerización, adición de nuevas moléculas de actina, respecto a la despolimerización, mientras que en el extremo menos predomina la despolimerización. El mecanismo de crecimiento y acortamiento de la longitud de los filamentos de actina es por polimerización y despolimerización, respectivamente, de monómeros de actina. En la célula se crean y se destruyen filamentos de actina continuamente (Fig. 2). Es el componente del citoesqueleto más dinámico. Sin embargo, las condiciones y la concentración de actina en el citosol impiden que los monómeros se asocien espontáneamente para formar filamentos. Por ello, la formación de nuevos filamentos es posible gracias a la

presencia de complejos proteicos, como los Arp2/3 o las forminas, que actúan como centros nucleadores. Esto es tremendamente útil para la célula puesto que permite crear nuevos filamentos sólo allí donde se necesitan.

Su capacidad de asociarse y formar estructuras tridimensionales es gracias a las proteínas moduladoras de la actina, las cuales afectan a la velocidad de creación y destrucción de filamentos, a la velocidad de polimerización, así como a la disposición tridimensional de los propios filamentos.

Las proteínas moduladoras se pueden clasificar en diferentes tipos: a) Afectan a la polimerización. Algunas proteínas, como la profilina, se unen a las proteínas de actina libres y favorecen su unión a filamentos preexistentes, mientras otras, como la timosina, inhiben su unión. b) Hay proteínas moduladoras, como las fimbrina y la  $\alpha$ -actinina, que permiten la formación de haces de filamentos de actina mediante el establecimiento de puentes cruzados entre filamentos, mientras otras, como la filamina, permiten la formación de estructuras reticulares. c) Ciertas proteínas moduladoras, como la cofilina, la katanina o la gesolina, provocan la rotura y remodelación de los filamentos de actina; d) También hay proteínas que median en la interacción de los filamentos de actina con otras proteínas relacionadas, como es el caso de la tropomiosina, que media la interacción entre actina y miosina. e) Las proteínas de anclaje permiten la unión de los filamentos de actina a estructuras celulares como las membranas o a otros componentes del citoesqueleto.

Existen factores adicionales que condicionan la acción de estas proteínas moduladoras, como la variación en la concentración de calcio, proteínas como las Rho-GTPasas, la presencia de lípidos o la mayor o menor expresión génica de sus ARN mensajeros. También hay drogas que afectan a la polimerización de los filamentos de actina. Por ejemplo, las citocalasinas impiden la polimerización y las faloidinas impiden la despolimerización.

#### Funciones.

Movimiento. Las células se desplazan arrastrándose por el medio que las rodea y ello se hace por un mecanismo de reptación, como ocurre en las células embrionarias durante el desarrollo, en el desplazamiento de las amebas, en la invasión de los linfocitos de los tejidos infectados etc. Es la polimerización de los filamentos de actina lo que empuja y forma protuberancias. Cuando estas expansiones contactan con algún lugar del medio extracelular donde se pueden unir, matriz extracelular o la superficie de otras células, lo hacen gracias a proteínas de adhesión como las integrinas. Una vez anclada, la célula arrastra sus componentes intracelulares hacia el lugar de adhesión gracias a la actina y a proteínas motoras como la miosina.

Las proteínas motoras que se asocian con la actina para producir movimiento son del tipo de las miosinas. La energía es aportada por el ATP. En las células se encuentran básicamente dos tipos de miosinas: tipos I y II. Las moléculas de miosina I tienen una cabeza con la que se unen a los filamentos de actina y una cola para unir otros elementos, los cuales son arrastrados a lo largo del filamento de actina. Aparecen en la mayoría de las células y sirven para el desplazamiento de ciertos orgánulos o para deformar la propia superficie celular. La familia de la miosina II se encuentra fundamentalmente en el músculo, aunque también aparece en otras células. Éstas tienen dos cabezas con actividad motora y capacidad de hidrólisis de ATP. Se suelen asociar en parejas, unidas a través de sus colas. Muchas moléculas se asocian para formar los filamentos de miosina II, los cuales tienen una polaridad como una flecha de doble cabeza. En el músculo cada una de estas cabezas arrastra a filamentos de actina hacia el punto intermedio entre ellas, que se traduce en una contracción celular. En el músculo liso actúa otro mecanismo mediante el cual el calcio produce una fosforilación de la miosina II permitiéndole la interacción con la actina. Este proceso es mucho más lento porque se necesita que las proteínas quinasas lleguen a sus lugares de acción.

Los filamentos de actina se encuentran normalmente en los alrededores de la membrana plasmática, en la denominada corteza celular, aunque en menor proporción también aparecen en zonas más internas de la célula. Ésta es una disposición ideal para participar en procesos de endocitosis y fagocitosis. La formación y

escisión de vesículas en la membrana plasmática no se realiza sin se impide la polimerización de los filamentos de actina. La emisión de las expansiones celulares que engloban a las moléculas que van a ser fagocitadas dependen de la polimerización de filamentos de actina.

La citocinesis o estrangulamiento final del citoplasma durante el proceso de división celular se produce gracias a un anillo de actina, que, ayudado por la miosinas, va estrechando su diámetro hasta la separación completa de los dos citoplasmas de las células hijas.

Establecen dominios de membrana. Los filamentos de actina también afectan a la movilidad lateral de las proteínas de membrana creando barreras a modo de cercas en la cara citosólica de la membrana plasmática que delimitan áreas. Esto impide largos desplazamientos laterales por difusión de las proteínas de la membrana.

Las microvellosidades son estructuras estables que permiten a la célula aumentar enormemente la superficie de su membrana plasmática y aparecen en las células epiteliales como las del tubo digestivo, donde se aumenta enormemente la superficie de absorción. Cada microvellosidad tiene de 1 a 2  $\mu\text{m}$  de longitud y 0.1  $\mu\text{m}$  de diámetro, y contiene varias docenas de filamentos de actina orientados paralelos al eje longitudinal. Estos filamentos están interconectados por proteínas como la miosina, fimbrina y vilina, por lo que se cree que tienen cierta capacidad de movimiento. Además, se encuentran unidos a la membrana celular por otras proteínas de enlace. En la base de las microvellosidades aparece un entramado llamado red terminal, formado fundamentalmente por actina, espectrina, miosina II y tropomiosina, el cual está conectado a la base de los haces de actina que forman las microvellosidades.

## MICROTÚBULOS

Los microtúbulos tienen numerosas funciones, como establecer la disposición espacial de determinados orgánulos, formar un sistema de raíles mediante el cual se pueden transportar vesículas o macromoléculas entre compartimentos celulares, son imprescindibles para la división celular puesto que forman el huso mitótico y son esenciales para la estructura y función de los cilios y de los flagelos. Son tubos largos y relativamente rígidos. Sus paredes están formados por unas subunidades proteicas globulares denominadas tubulinas. Éstas se asocian en dímeros compuestos por dos tipos de tubulinas:  $\alpha$  y  $\beta$ . Estas parejas se alinean ordenadamente, mediante enlaces no covalentes, en filas longitudinales que se denominan protofilamentos. Un microtúbulo tipo contiene trece protofilamentos. Cada protofilamento tiene una polaridad estructural: la  $\alpha$ -tubulina siempre formará un extremo del protofilamento y la  $\beta$  el otro. Esta polaridad es la misma para todos los protofilamentos de un microtúbulo y por tanto el microtúbulo también es una estructura polarizada. Se denomina extremo menos al extremo donde hay una  $\alpha$ -tubulina y más donde está la  $\beta$ -tubulina. Los nuevos dímeros de tubulina se añade con una menor eficacia a la  $\alpha$ -tubulina que a la  $\beta$ -tubulina, por lo que el extremo más es el lugar preferente de crecimiento del microtúbulo y predomina la polimerización respecto a la despolimerización. En el extremo menos predomina la despolimerización respecto a la polimerización. Por ello los microtúbulos suelen crecer por el extremo más y, si no está protegido, decrecer por el extremo menos. Sin embargo, el extremo más es muy dinámico y en él se suceden procesos de polimerización y despolimerización, algunos tan drásticos que pueden hacer desaparecer por completo al microtúbulo.

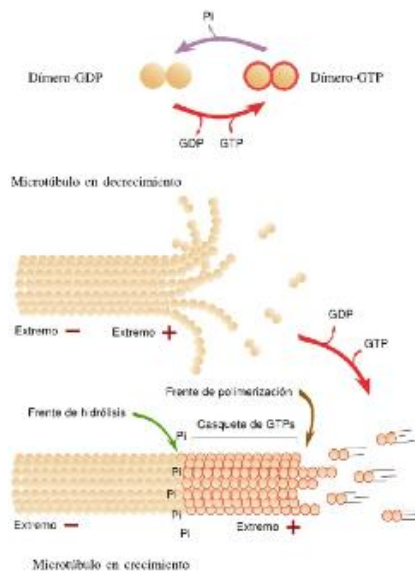


Figura 3. En este esquema se representan los dos estados en que se encuentran los dímeros de tubulina en sus formas unida a GTP o unidas a GDP. En el citosol se da la conversión de dímero-GDP en dímero-GTP, mientras que en microtúbulo ocurre el proceso contrario en el denominado frente de hidrólisis. Un microtúbulo despolimeriza cuándo los dímeros-GDP se encuentran ocupando el extremo más, mientras que polimeriza cuando en el extremo más está formado por los dímeros-GTP, formando el denominado casquete de GTPs.

Los microtúbulos están continuamente polimerizando y despolimerizando fundamentalmente en su extremo más. En un fibroblasto típico la mitad de la tubulina disponible está libre en el citosol y la otra mitad formando parte de los microtúbulos. Esta situación es bastante diferente a la de los filamentos intermedios en los que la mayoría de las subunidades están formando parte de dichos filamentos. Hay un ir y venir de dímeros de tubulina entre el citosol y los microtúbulos. Esto es importante para la reordenación del sistema celular de microtúbulos cuando es necesario. Existen sustancias que afectan a la polimerización o despolimerización de los microtúbulos: la colchicina impide la polimerización, mientras que el taxol tiene el efecto contrario, se une fuertemente a los microtúbulos impidiendo su despolimerización (Fig. 3).

### Inestabilidad dinámica

Una vez que se ha producido el comienzo de la formación de un microtúbulo la incorporación de nuevos dímeros de tubulina hace que el microtúbulo crezca en longitud. Este crecimiento a veces se detiene repentinamente y el microtúbulo comienza a despolimerizarse, llegando a veces incluso a desaparecer, o más frecuentemente reinicia el proceso de polimerización. A estas alternancias entre polimerización y despolimerización es a lo que se llama inestabilidad dinámica.

Los microtúbulos se pueden clasificar en dos grandes grupos: aquellos que son estables, presentes en los cilios y flagelos, y otros más dinámicos y cambiantes que se encuentran en el citoplasma. Aparte del papel de los microtúbulos citoplasmáticos en el movimiento de los cromosomas, mediante la formación del huso mitótico, participan en el movimiento de orgánulos como las mitocondrias, lisosomas, pigmentos, gotas de lípidos. Son también necesarios para dirigir el tráfico vesicular.

Los cilios y flagelos son estructuras que se proyectan desde las células, contienen microtúbulos y están rodeados de membrana plasmática. Las células utilizan estos apéndices para desplazarse, para remover el medio que les rodea o como estructuras sensoriales. Los cilios son más cortos que los flagelos, son más numerosos y se mueven de una manera en la que propelen el líquido en una dirección paralela a la superficie

de la célula. Los flagelos mueven el líquido que les rodea en una dirección perpendicular a la superficie de la célula.

### FILAMENTOS INTERMEDIOS

Son componentes del citoesqueleto que ejercen una gran resistencia a las tensiones mecánicas y su principal misión es permitir a las células soportar tensiones mecánicas cuando son estiradas. Se denominan intermedios porque su diámetro es de aproximadamente 10 a 12 nm, que se encuentra entre los de los filamentos de actina (7 a 8 nm) y los microtúbulos (25 nm). Se encuentran presentes en las células animales, aunque no en todas. Forman una red que contacta con el núcleo y se extiende hasta la periferia celular. Normalmente están anclados a los complejos de unión que se establecen entre células vecinas, como los desmosomas en mancha, a los hemidesmosomas, a las uniones focales y a la matriz extracelular a través de proteínas de unión. También se han encontrado filamentos intermedios en el núcleo donde forman la lámina nuclear, un entramado que da forma y aporta cohesión a la envuelta nuclear. Abundan los filamentos intermedios en las células que están sometidas a tensiones mecánicas. Por ejemplo en los axones de las células nerviosas, en las musculares y en las epiteliales.

Los monómeros polimerizan para formar filamentos alargados. Los monómeros o subunidades están formados por una cabeza globular en el extremo amino, una cola globular en el extremo carboxilo y un dominio central alargado o región central con unos 310 a 350 aminoácidos. La región central se organiza en una hélice alfa que permite a un monómero unirse a otro para formar dímeros. Dos de estos dímeros pueden asociarse entre sí mediante enlaces eléctricos para formar tetrámeros y los tetrámeros se asocian entre sí formando octámeros. Cuatro octámeros forman la unidad fundamental de ensamblaje y varias unidades se asocian por sus extremos para formar los filamentos intermedios a modo de cuerda. Las zonas centrales de los monómeros son muy parecidas entre los distintos tipos de filamentos intermedios, en tamaño y secuencia de aminoácidos, por lo que todos tienen un diámetro y forma parecidos. Las cabezas o zonas globulares son las regiones de la proteína encargadas de interactuar con otros componentes celulares. En los distintos tipos de filamentos intermedios estas cabezas son variables en forma y secuencia de aminoácidos (Fig. 4).

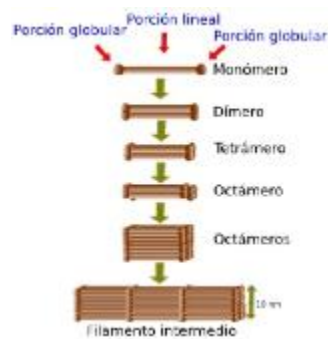


Figura 4. Esquema del ensamblaje de los filamentos intermedios a partir de monómeros.

Los filamentos intermedios son flexibles y resistentes, dos propiedades óptimas para soportar las tensiones mecánicas. Se ha estimado que pueden estirarse entre un 250 y un 350 % de su longitud inicial cuando se someten a fuerzas de tensión. Cuando esto ocurre disminuyen su diámetro, por lo que se estima que los monómeros pueden deslizarse unos sobre otros. Además de en esta función de resistencia parece que intervienen en otros procesos celulares. Se les postula como lugar de anclaje de numerosas moléculas de señalización. Además, interactúan directamente con orgánulos como las mitocondrias, el aparato de Golgi y

los lisosomas, por lo que pueden afectar a su funcionamiento. Aunque los filamentos intermedios son más estables en el tiempo que los microtúbulos o los filamentos de actina, también pueden desorganizarse y volver a polimerizar bajo ciertas condiciones celulares como durante el desplazamiento celular, división celular o cuando se responde a cambios de dirección las fuerzas tensoras que soportan las células.

Hay tres grandes familias de filamentos intermedios: filamentos de queratina en las células epiteliales, la vimentina y otros filamentos relacionados con la vimentina, que aparecen en las células del conjuntivo, células musculares y nerviosas, y los neurofilamentos, que se encuentran en las células nerviosas. La familia de filamentos intermedios con más diversidad en sus monómeros es la de las queratinas. Así, se han encontrado monómeros diferentes en epitelios diferentes, también aparecen queratinas especiales en el pelo, las plumas y las uñas. En cada caso los filamentos de queratina son el resultado de una mezcla de distintos tipos de monómeros de queratinas.

Los filamentos de queratina en las células epiteliales suelen estar anclados a los desmosomas y a los hemidesmosomas. La importancia de esto queda establecida en una enfermedad llamada epidermolisis bullosa simple, en la cual existen mutaciones que modifican la formación de los filamentos de queratina. El resultado es una piel muy vulnerable al daño mecánico, es decir, hace falta muy poca presión para separar las células y producir descamación. Esta es sólo una de las más de 75 enfermedades humanas asociadas a defectos en los filamentos intermedios como miopatías, esclerosis lateral amiotrófica, Parkinson, cataratas, etcétera.

**Anexo 2.** Lectura: Cilios y flagelos.

### Cilios y flagelos<sup>3</sup>

Megías et al. (2015)

Los microtúbulos, elementos del citoesqueleto, tienen una función esencial en la fisiología celular. El entramado de microtúbulos que se extiende en el citosol es muy maleable gracias a su capacidad de polimerización y despolimerización, fundamentalmente en su extremo más. Sin embargo, no todos los microtúbulos de la célula están sometidos a esta "inestabilidad dinámica". Existen estructuras celulares en las células animales, en los gametos de algunas especies vegetales y en organismos unicelulares que poseen haces de microtúbulos altamente organizados y muy estables en cuanto a su disposición y longitud: los centriolos, los cilios y los flagelos. En esta sección vamos a estudiar a los cilios y a los flagelos.

#### Cilios

Los cilios son expansiones celulares filiformes, de unos 0,25  $\mu\text{m}$  de diámetro y unos 10 a 15  $\mu\text{m}$  de longitud, que aparecen en las células animales y en algunos protozoos. Suelen disponerse densamente empaquetados, a modo de césped, en las superficies libres de numerosas células, como las que forman los epitelios de los tractos respiratorios, de los conductos del aparato reproductor femenino de mamíferos o de las branquias de los peces y bivalvos. También aparecen en numerosos protozoos. Son estructuras que pueden moverse y su principal misión es la de desplazar fluidos, como ocurre con el mucus del tracto respiratorio, pero también empujan al óvulo a lo largo de las trompas de falopio hasta el útero o mueven el agua alrededor de las branquias. Los organismos unicelulares los usan para moverse ellos mismos o para arremolinar el líquido que les rodea y así atraer alimento. Una función del movimiento ciliar descubierta recientemente está implicada con el establecimiento de la lateralidad de determinadas estructuras de los vertebrados durante el desarrollo embrionario. El tipo de movimiento que realizan es de bateo, a modo de látigo, de manera sincronizada, produciendo una especie de ola que desplaza el fluido en una dirección paralela a la superficie de la célula (Fig. 1).

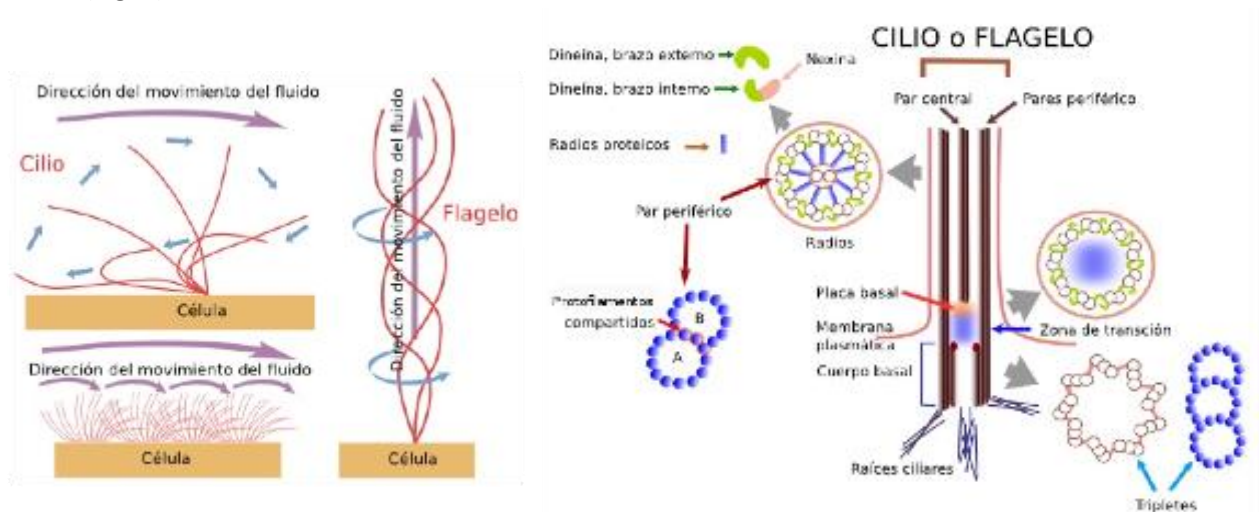


Figura 1. A la derecha se ilustra la estructura general de cilios y flagelos. A la izquierda un esquema que ilustra los modelos de movimiento propuestos para los cilios y los flagelos. En cada caso el flujo neto del fluido es diferente.

<sup>3</sup> Megías M., Molist, P. y Pombal M. A. (2015). Atlas de histología vegetal y animal. La célula. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo: España.



Se han observado numerosos cilios, denominados cilios primarios, que no funcionan como estructuras móviles. Prácticamente todos los tejidos animales estudiados, excepto las células sanguíneas, poseen cilios primarios: oviductos, neuronas, cartílago, ectodermo de las extremidades en desarrollo, células mesenquimáticas, ventrículos cerebrales, células epiteliales de los conductos urinarios, conductos pancreáticas, células hepáticas, e incluso células en cultivo. La mayoría de estos cilios no son móviles y se pensó que no eran funcionales. Sin embargo, se observó que la membrana ciliar tenía numerosos receptores y canales iónicos, por lo que se le asignó un papel sensorial. Por ejemplo, los receptores olfativos se encuentran en cilios dendríticos y los segmentos externos de los conos y bastones de la retina son en realidad cilios modificados. Algunos de los receptores están más densamente empaquetados en sus membranas que en el resto de la membrana plasmática de la célula.

Además, existen numerosas moléculas en el interior del cilio primario que transducen estas señales. La mayor relación superficie/volumen hace que las respuestas intraciliares sean muy intensas frente a señales externas relativamente débiles. Además de sustancias químicas también pueden detectar movimientos de fluidos circundantes, actuando como mecanoreceptores.

### Flagelos

Los flagelos son similares a los cilios pero mucho más largos, con unas 150 nm de longitud, y un poco más gruesos. Su principal misión es desplazar a la célula. Son mucho menos numerosos que los cilios en las células que los poseen. Su movimiento también es diferente puesto que no desplazan el líquido en una dirección paralela a la superficie de la célula sino en una dirección paralela al propio eje longitudinal del flagelo. Los flagelos son frecuentes en células móviles como ciertos organismos unicelulares y gametos masculinos.

### Estructura

Los cilios y flagelos son estructuras complejas con más de 250 proteínas diferentes. Ambos contienen una estructura central de microtúbulos y otras proteínas asociadas, denominadas conjuntamente como axonema, rodeado todo ello por membrana celular. En su interior, además del axonema, se encuentran una gran cantidad de moléculas solubles que participan en cascadas de señalización y que forman la denominada matriz. Un axonema consta de 9 pares de microtúbulo exteriores que rodean a un par central. A esta disposición se la conoce como  $9 \times 2 + 2$ . El par central de microtúbulos contiene los 13 protofilamentos típicos, pero las parejas externas comparten protofilamentos. Los cilios primarios carecen de par central. A uno de los microtúbulos de cada par periférico se le denomina tubo A y al otro tubo B. El A es un microtúbulo completo mientras que el B contiene sólo 10 u 11 protofilamentos propios y 2 o 3 compartidos con el A.

Esta disposición se mantiene gracias a un entramado de conexiones proteicas internas. Al menos doce proteínas diferentes se han encontrado formando parte del axonema, las cuales están implicadas fundamentalmente en mantener la organización de los microtúbulos. Las parejas de microtúbulos externos están conectadas entre sí mediante una proteína denominada nexina. Los tubos A de cada pareja están conectados por radios proteicos a un anillo central que encierra al par central de microtúbulos. En los microtúbulos externos aparece una proteína motora asociada llamada dineína que está implicada en el movimiento de cilios y flagelos.

Los microtúbulos se originan por polimerización a partir de una estructura localizada en el citoplasma celular periférico denominada cuerpo basal. La estructura del cuerpo basal es similar a la de los centriolos, es decir, 9 tripletes de microtúbulos que se disponen formando una estructura cilíndrica. Carece del par central ( $9 \times 3 + 0$ ). En cada triplete sólo uno de los microtúbulos contiene una forma completa y los otros dos comparten protofilamentos. Entre el cuerpo basal y el axonema del cilio existe una zona de transición que posee sólo los 9 dobletes típicos del cilio pero no el par central. Éste se formará a partir de una estructura llamada placa basal, localizada entre la zona de transición y el doblete interno. Los microtúbulos tienen sus

extremos menos localizados en la punta distal de los cilios y flagelos. La parte del cuerpo basal más próxima al interior celular se ancla al citoesqueleto mediante estructuras proteicas denominadas radios ciliares.

Además del axonema y sus proteínas asociadas se pueden encontrar otros tres compartimentos en los cilios, sobre todo en los cilios primarios. La membrana ciliar que, en los cilios primarios, contiene numerosos receptores y canales, consistente con la función sensorial. Otro compartimento es la matriz, la fase fluida que ocupa el interior ciliar. La matriz, además de ayudar a mantener la estructura del flagelo, también tiene proteínas que transducen la señales generadas en la membrana. Otros dos compartimentos son la base y la parte más distal del cilio. En la base se encuentra el cuerpo basal y complejos proteicos desde los que parten y nuclean los microtúbulos del axonema. En la parte distal se encuentra un entramado proteico complejo donde aparecen proteínas asociadas a los microtúbulos que estabilizan los extremos menos.

¿Cómo se produce el movimiento?

El movimiento se produce por deslizamientos de unos microtúbulos sobre otros. Las proteínas nexinas y los radios proteicos son los que impiden que el flagelo se desorganice. El movimiento de los microtúbulos está producido por la dineína, un motor molecular, puesto que es donde se produce la hidrólisis de ATP y si se elimina el movimiento cesa, aún en presencia de ATP. La dineína se ancla con su zona globular al microtúbulo B y con la zona motora al microtúbulo A del par vecino. El proceso es similar al que se utiliza para el transporte de orgánulos en el citoplasma celular pero en este caso la carga que transporta es otro microtúbulo. Cuando la dineína se activa produce un desplazamiento de un par respecto al otro. Para permitir un movimiento eficiente se necesita una coordinación entre las dineínas de los dobletes externos de microtúbulos. El control del movimiento parece depender de las concentraciones de calcio y permite a la célula variar el movimiento de estas estructuras. Una cuestión interesante es que no todas las dineínas se pueden activar a la vez sino de manera sincrónica.

Formación de cilios y flagelos. Cuerpos basales.

Los cilios y flagelos que tendrá una célula se produce durante la diferenciación celular y por tanto se tienen que formar de nuevo. Los microtúbulos se forman a partir de los microtúbulos que forman el cuerpo basal. Pero entonces, ¿quién forma los cuerpos basales? Inicialmente, uno de los centriolos del centrosoma migra hacia la membrana plasmática, contacta con ella y se inicia la polimerización de los túbulos A y B del axonema. Al final del proceso el centriolo se transforma en cuerpo basal. ¿Cómo aporta la célula suficiente cantidad de centriolos? Existen al menos tres formas de producir centriolos: a) por división de los centriolos gracias a un proceso por el que se forman nuevos centriolos a partir de la pared de centriolos preexistentes; b) por la presencia de deuterosomas, que son estructuras proteicas a partir de las cuales los centriolos pueden formarse independientemente de otros centriolos. Esto es importante cuando la célula tiene que crear una gran cantidad de cilios; c) las plantas, que carecen de centriolos, realizan un proceso similar al anterior pero con otro tipo de agregados propios de los vegetales.

## Estructuras de locomoción de las algas (Flagelos)

Lee (2008)

Locomoción de las algas<sup>4</sup>

Los flagelos del alga verde *Chlamydomonas* se han utilizado como modelo de estructura flagelar. La estructura de los flagelos se ha conservado en gran medida a lo largo de la evolución, las imágenes de *Chlamydomonas* son prácticamente indistinguibles de los flagelos (o cilios, un término para un flagelo corto) de las células de mamíferos, incluidos los espermatozoides humanos y ciertos epitelios (Johnson, 1995). *Chlamydomonas* se ha elegido debido a la facilidad de crecimiento del organismo y porque los flagelos pueden desprenderse de las células por choque de pH o mezcla. Dado que los flagelos no son esenciales para la viabilidad de la célula, es relativamente fácil aislar mutaciones que afectan la síntesis de flagelos por parte de las células (Fig. 1).

Un flagelo consiste en un **axonema** de nueve microtúbulos dobles que rodean dos microtúbulos centrales, con todos los microtúbulos encajonados en la membrana plasmática (Figs. 2, 3). Al entrar en el cuerpo celular, los dos microtúbulos centrales terminan en una placa densa, mientras que los nueve dobletes periféricos continúan en la célula, generalmente recogiendo una estructura adicional que los transforma en tripletes. El flagelo pasa a través de un túnel en la pared celular llamado collar flagelar.

El par central de microtúbulos son microtúbulos simples con 13 protofilamentos, mientras que los microtúbulos externos son dobletes con el túbulo-A que consta de 13 protofilamentos y el túbulo-B que tiene 11 protofilamentos. Los microtúbulos del par central se parecen a los microtúbulos citoplásmicos, ya que son más lábiles que los microtúbulos de doblete externos. Los microtúbulos del axonema están compuestos de a y b tubulina y que constituyen el 70% de la masa proteica del axonema (Dutcher, 1995). Los **radios radiales**, cada uno de ellos formado por un tallo delgado y una cabeza, se proyectan desde el túbulo-A de los dobletes de microtúbulos externos (Figs. 2, 3).

Los **brazos de dineína** internos y externos se adhieren al túbulo-A del microtúbulo externo y se extienden al túbulo-B del doblete externo adyacente del microtúbulo. La dineína es una mecanoenzima que hidroliza el ATP con la energía resultante utilizada por la dineína para moverse a lo largo del túbulo-B del doblete de microtúbulos externos adyacentes (Fig. 3). En esta acción, el túbulo-B se llama la **vía**, mientras que el túbulo-A se llama la **carga**. El desplazamiento resultante de los dobletes de microtúbulos externos entre sí provoca la flexión del flagelo (Mitchell, 2000). Las proteínas de kinesina hacen que el par central de microtúbulos gire dentro del axonema (Fig. 4). A medida que el par central de microtúbulos gira, los microtúbulos interactúan con los radios radiales individuales que inducen el deslizamiento entre los dobletes de microtúbulos adyacentes, la flexión asimétrica del flagelo y la propagación de ondas flagelares (Johnson, 1995).

También hay otras estructuras entre los microtúbulos en la región basal del flagelo (**cuerpo basal**). Unido al cuerpo basal puede haber raíces microtubulares o raíces fibrilares estriadas. El primer tipo de raíz consiste en un grupo de microtúbulos que van desde el cuerpo basal hacia el protoplasma (Figs. 2, 4), mientras que el último consiste en grupos de fibras que tienen estrías a lo largo de su longitud (Figs. 4, 6). El gameto del alga marina *Ulva lactuca* (lechuga de mar) tiene dos tipos de raíces flagelares (Fig. 5) (Melkonian, 1980; Andersen et al., 1991). Hay cuatro **raíces microtubulares** compuestas de microtúbulos dispuestos en un patrón

---

<sup>4</sup> Lee, R. E. (2008). *Phycology*. United States of America by Cambridge University Press, New York. p. 4-9.

cruzado, y **raíces fibrosas (rizoplastos)** compuestas de un haz de filamentos (Fig. 6). Hay dos tipos de raíces fibrosas: (1) **raíces fibrosas del sistema I** compuestas de filamentos de 2 nm estriado-cruzado con una periodicidad de aproximadamente 30 nm y (2) **raíces fibrosas del sistema II** compuestas de filamentos de 4–8 nm generalmente estriado-cruzado con una periodicidad superior a 80 nm. Las raíces fibrosas del sistema I no son contráctiles, mientras que las raíces fibrosas del sistema II son contráctiles cuando se estimulan adecuadamente (Moestrup, 2000; Brugerolle y Mignot, 2003).

La membrana flagelar puede no tener **pelos (mastigonemas)** en su superficie (latigazo cervical o flagelo acronemático) o puede tener pelos en su superficie (oropel o vellosos). Hay dos tipos de cabello flagelar (Fig. 7):

**1 Pelos flagelares no tubulares** compuestos por fibrillas sólidas de 5–10 nm de ancho y 1–3  $\mu$ m de largo que están compuestas de glicoproteínas. Estos pelos son flexibles y se envuelven alrededor del flagelo, lo que aumenta el área de superficie y la eficiencia de la propulsión.

**2 Pelos flagelares tubulares** de aproximadamente 2  $\mu$ m de largo compuestos de tres regiones: (1) una región basal afilada de 200 nm de largo unida a la membrana flagelar, (2) un eje micotubular de 1  $\mu$ m de largo, y (3) unos pocos filamentos terminales de 0,52  $\mu$ m de largo (Andersen et al., 1991).

Las bases de los pelos no penetran en la membrana flagelar, sino que están adheridas a ella. El desarrollo de los pelos tubulares comienza en el espacio entre la membrana interna y externa de la envoltura nuclear (continuo perinuclear) donde se ensamblan las regiones basales y microtubulares. Luego pasan al aparato de Golgi, donde se agregan los filamentos terminales. Finalmente, los pelos se llevan a la membrana plasmática en vesículas de Golgi, donde se descargan y se unen a la membrana flagelar. Cabellos tubulares tripartitos se producen en el Heterokontophyta. El término **stramenopile** (pelo de paja) se ha utilizado para incluir a todos los protistas con pelos tubulares (van der Auwera y deWachter, 1997). Además de las algas en el Heterokontophyta, los stramenopiles incluyen los oomycetes, hyphochytridomycetes, thraustochytrids, y los bicosoecids y labyrinthulids.

El resto de las algas tienen pelos no tubulares si hay pelos en los flagelos (Moestrup, 1982). Además de los pelos, en la superficie de los flagelos aparecen varios tipos de escamas diferentes. Estos serán discutidos en los capítulos sobre los grupos de algas individuales.

Los flagelos progresan a través de un conjunto de ciclos de desarrollo durante la división celular (Fig. 8). Se utilizará como ejemplo una célula biflagelada con un flagelo anterior cubierto con pelos tubulares (flagelo de oropel) y un flagelo liso posterior (flagelo de latigazo cervical). Antes del inicio de la división celular, dos nuevos flagelos aparecen junto al flagelo anterior. Estos dos nuevos flagelos se alargan, mientras que el flagelo anterior original se mueve hacia la parte posterior de la célula y pierde su vello tubular, para convertirse en el glóbulo liso posterior de una de las células hijas. Los dos nuevos flagelos en el extremo anterior de la célula adquieren pelos tubulares y se convierten en los flagelos de oropel de las células hijas. Por lo tanto, cada célula hija tiene un nuevo flagelo anterior del oropel, y un flagelo posterior del latigazo suave que originalmente era un flagelo en la célula madre (Beech y Wetherbee, 1990; Melkonian et al., 1987).

Las células de algas pueden tener diferentes arreglos de flagelos. Si los flagelos son de igual longitud, se llaman flagelos isoconto; si son de longitud desigual, se llaman flagelos anisoconto; y si forman un anillo en un extremo de la célula, se les llama flagelos estefanoconto. Heteroconta se refiere a un organismo con un flagelo velludo y uno liso. (Moestrup, 1982).

Los flagelos pueden ser de diferente longitud en la misma célula. Esto se controla mediante el **transporte intraflagelar**, definido como el movimiento bidireccional de partículas a lo largo de la longitud del flagelo entre el axonema y la membrana flagelar (Beech, 2003). Un flagelo maduro que no se alarga tiene un desmontaje constante del flagelo que es contrarrestado por un ensamblaje igualmente estable proporcionado

por el transporte intraflagelar. Un cambio en la longitud del flagelo se produce por un desequilibrio en el montaje o desmontaje de componentes flagelares (Rosenbaum y Witman, 2002). Por lo tanto, el desmontaje se produce más rápido que el ensamblaje en la retracción flagelar. Lo contrario ocurre durante el crecimiento flagelar. Las diferencias en la longitud de los flagelos se deben a que el flagelo más corto se retrasa en las etapas iniciales de construcción. La tasa de ensamblaje del flagelo más corto es la misma que la del flagelo más largo. Puede haber una puerta en la base del flagelo que regula el paso de los precursores flagelares hacia el cuerpo basal y el flagelo (Schoppmeier y Lechtreck, 2003).

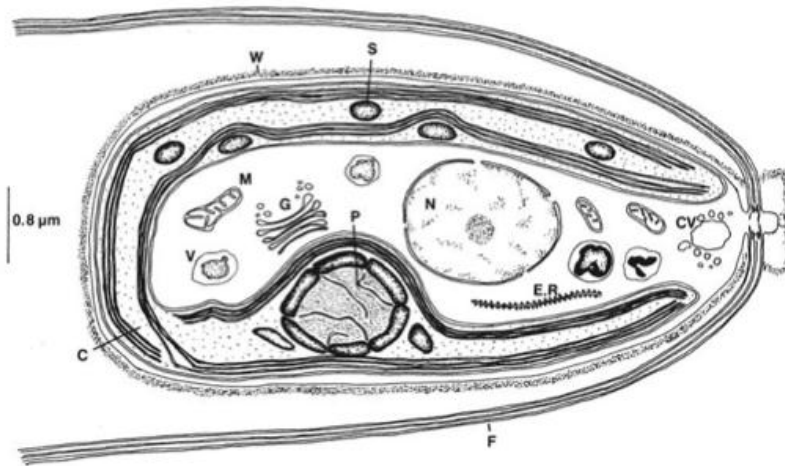


Figura 1. Dibujo de una célula del alga verde *Chlamydomonas* que muestra los orgánulos presentes en una célula de algas eucarióticas. (C) cloroplasto; (CV) vacuola contráctil; (E.R.) retículo endoplásmico; (F) flagelos; (G) cuerpo de Golgi; (M) mitocondria; (N) núcleo; (P) pirenóide; (S) almidón; (V) vacuola; (W) pared.

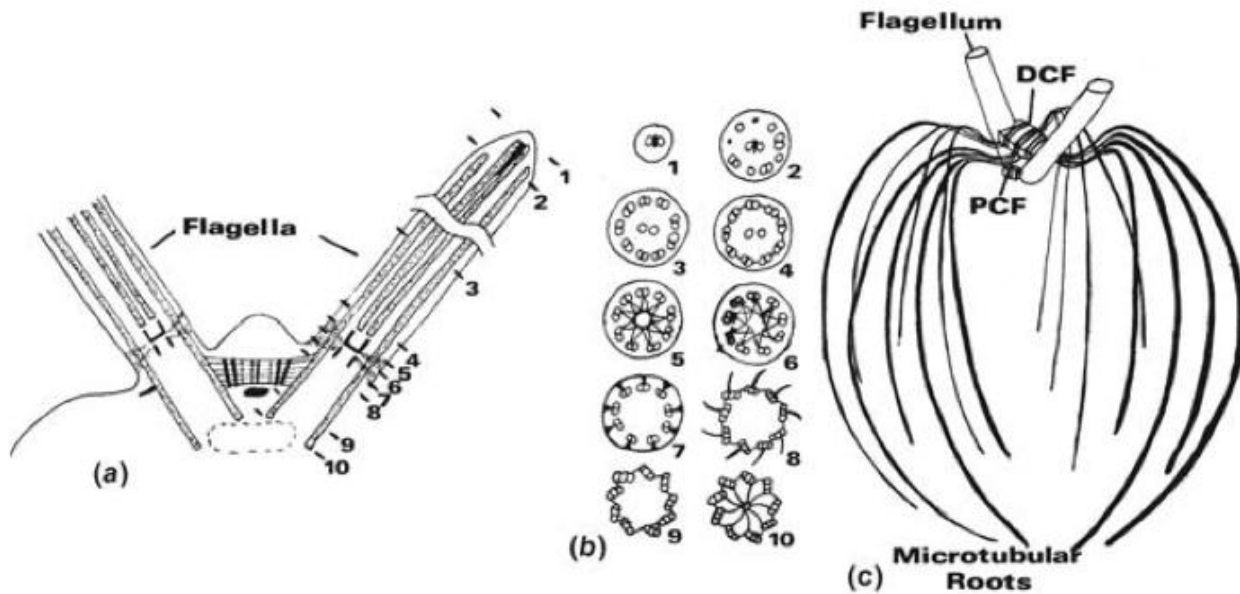


Figura 2. El sistema flagelar en la alga verde *Chlamydomonas*. (a) Un dibujo esquemático de una sección del sistema flagelar. Los números se refieren a las secciones transversales del sistema flagelar en (b). (c) Dibujo esquemático de todo el aparato flagelar. Los dos flagelos están unidos por la fibra de conexión proximal (PCF) y la fibra de conexión distal (DCF), (After Ringo, 1967).

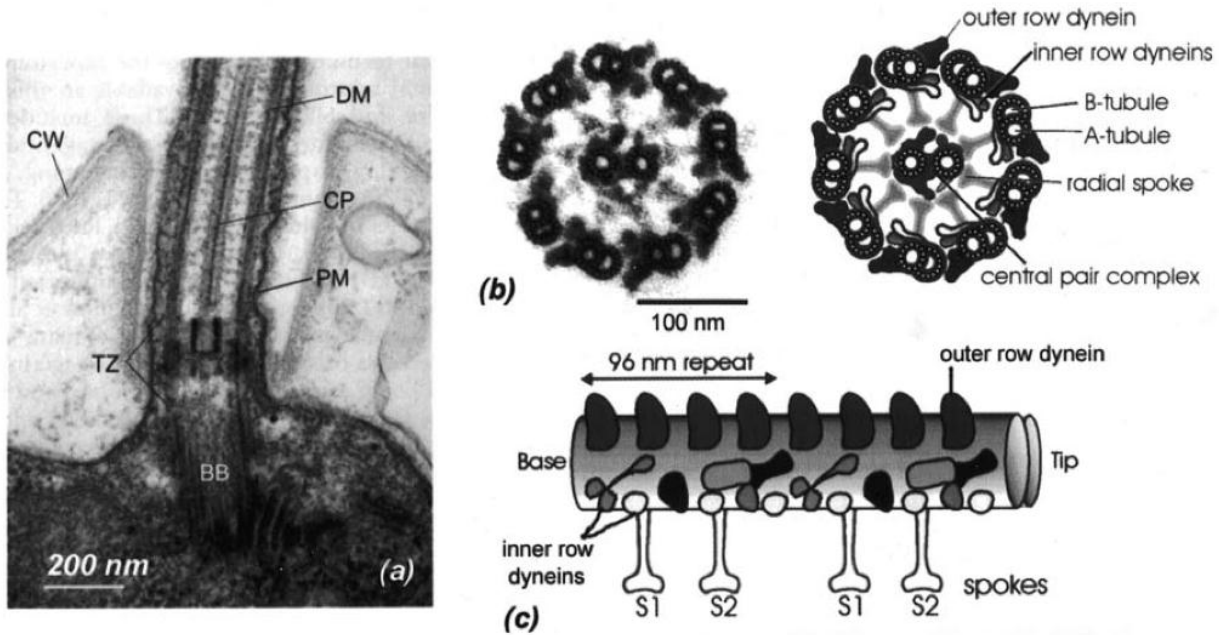


Figura 3. Flagelo de *Chlamydomonas*. (a) Micrografía electrónica de transmisión a través de la región anterior de una célula de *Chlamydomonas reinhardtii* que incluye la pared celular (CW), microtúbulos dobles (DM), microtúbulos del par central (CP), membrana plasmática (PM), zona de transición (TZ) y basal cuerpo (bb). (b) Sección delgada a través de un axonema flagelar desmembranado aislado que muestra los componentes principales. (c) Diagramas de dineínas y estructuras relacionadas observadas a lo largo del túbulo A de cada doblete (De Mitchell, 2000).

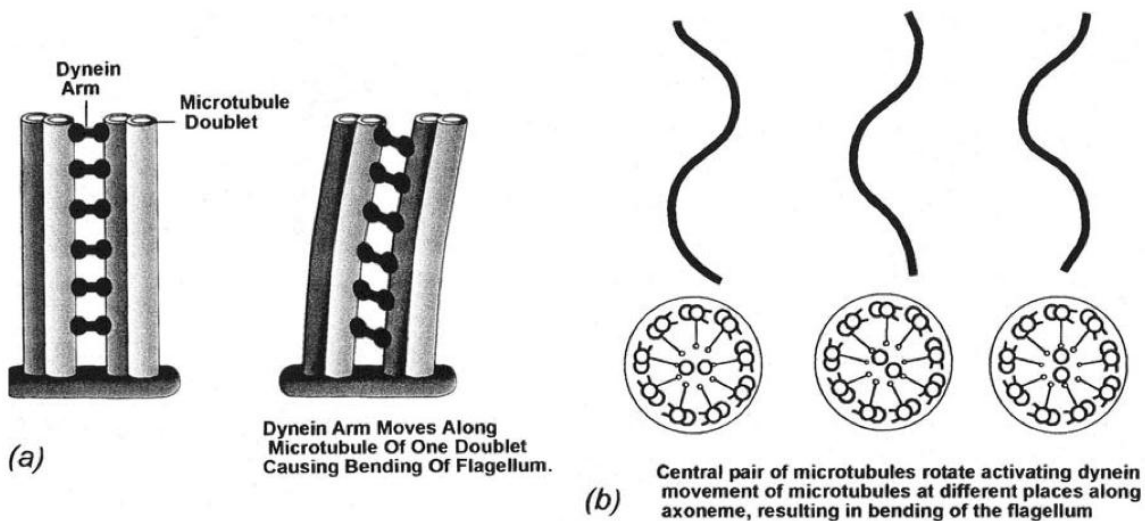


Figura 4. La flexión de los flagelos se produce por el par central giratorio de microtúbulos que activan el movimiento de la dineína de microtúbulos dobletes externos específicos.

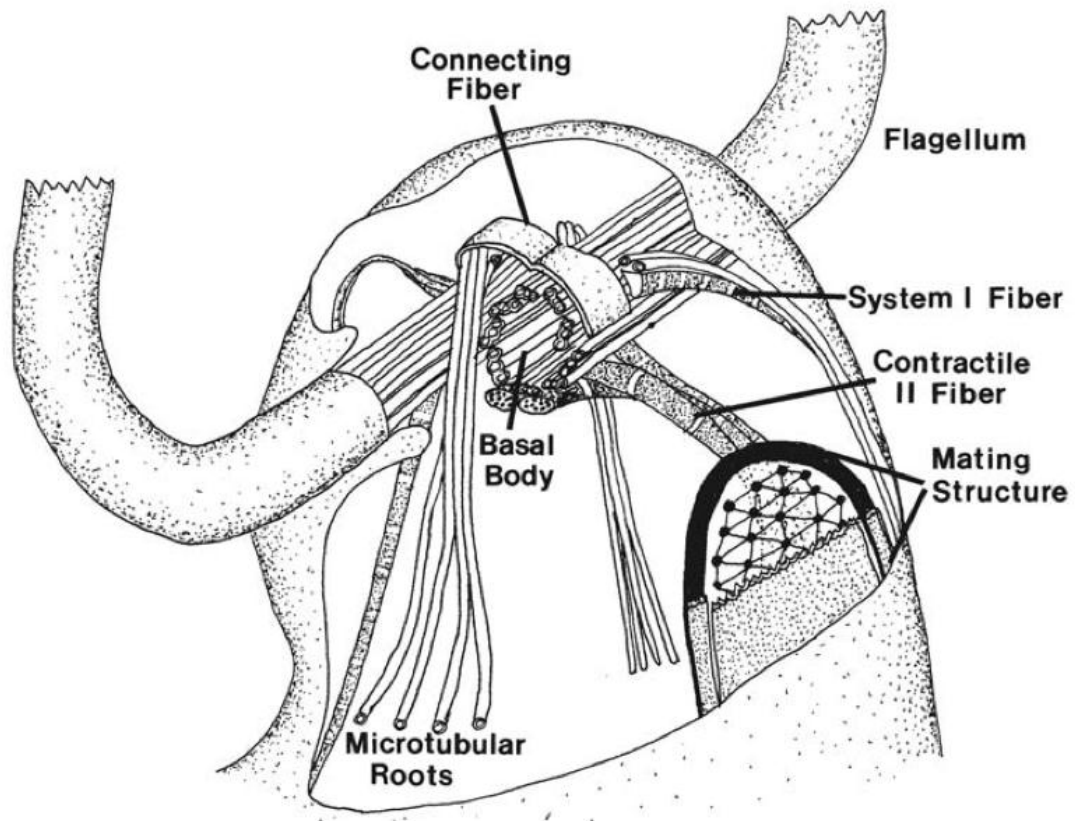


Figura 5. Reconstrucción tridimensional esquemática del aparato flagelar de un gameto femenino de *Ulva lactuca* que muestra las cuatro raíces microtubulares dispuestas de forma cruzada y las raíces fibrosas contráctiles (Adaptado de Melkonian, 1980).

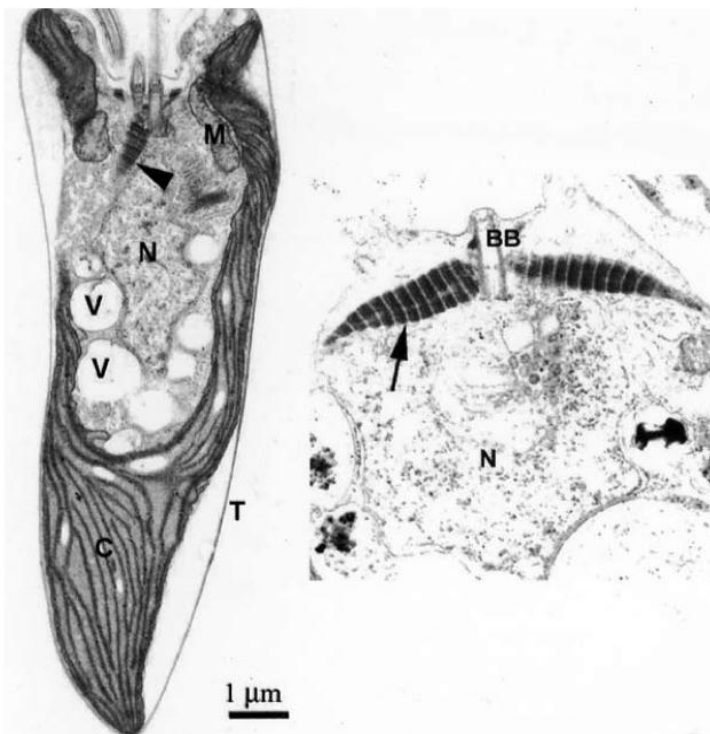


Figura 6. Micrografías electrónicas de transmisión de raíces estriadas (rizoplastos) en el alga verde *Scherffelia dubia* (Chlorophyta). Flecha y punta de flecha apuntan a una raíz estriada. (BB) Cuerpo basal; (C) cloroplasto; (M) mitocondria; (N) núcleo; (V) Vacuola (De Vierkotten et al., 2004.)

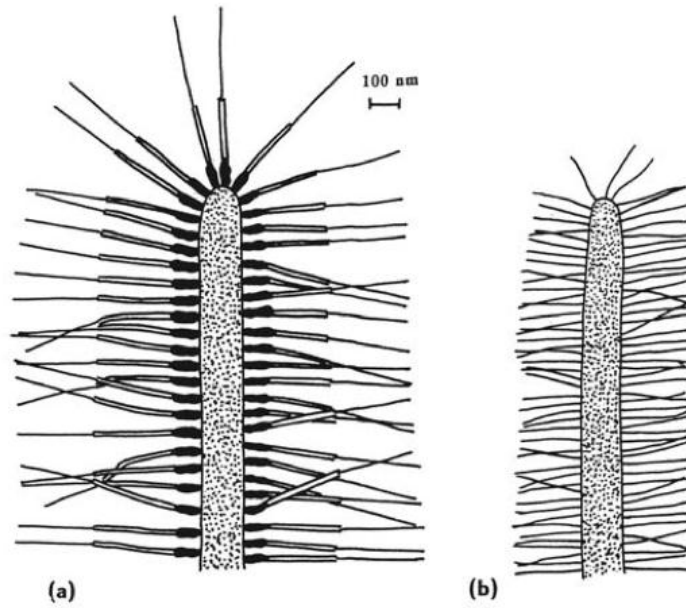


Figura 7. Dibujos de los tipos de pelos en flagelos de algas. (a) Pelos tripartitos (ejemplo esperma de *Ascophyllum*). Cada cabello está compuesto por una región basal unida a la membrana flagelar, el eje microtubular y un cabello terminal. (b) Pelos no tubulares (ejemplo del gameto *Chlamydomonas*) ((a) adaptado de Bouck, 1969; (b) de Snell, 1976).

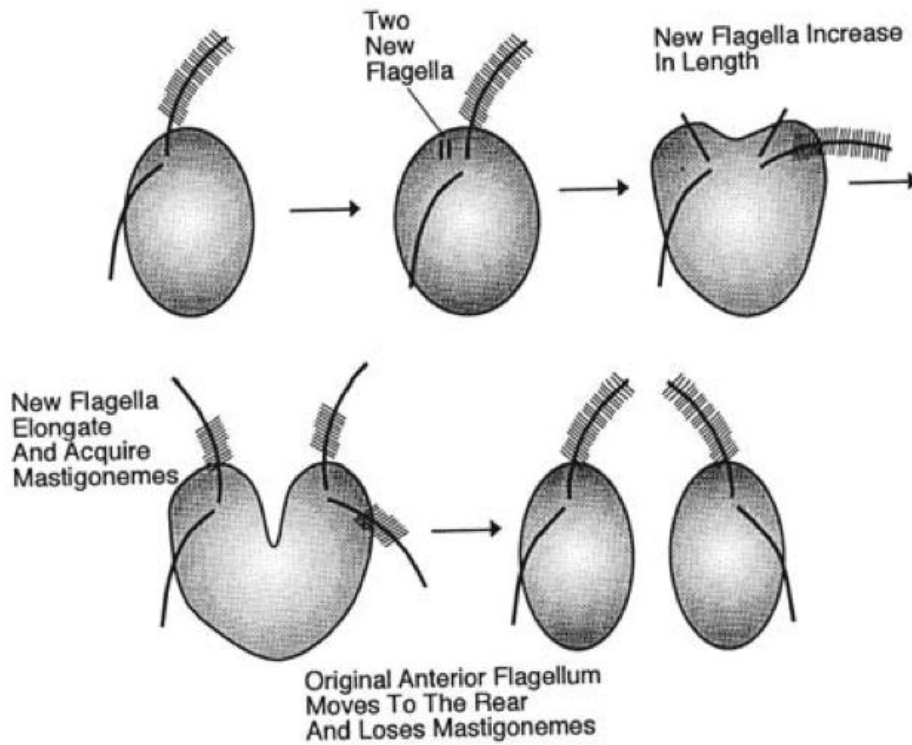


Figura 8. La secuencia de transformación flagelar durante la división celular.



**Anexo 4.** Actividad de laboratorio: Observación de flagelos en euglenoideos.

## Observación de flagelos en euglenoideos <sup>5</sup>

Dreckmann et al. (2013)

### Introducción

Los euglenoideos (Euglenophyceae) presentan las siguientes características:

a) Como pigmentos fotosintéticos presentan clorofila a y b.

b) Como sustancia de reserva poseen un polímero de la glucosa con uniones químicas Beta-1,3 conocido como Paramilon (el almidón producido en las algas verdes es también un polímero de la glucosa, pero las uniones químicas son del tipo  $\alpha$ -1,4) y se encuentra presente en el citoplasma y no en el cloroplasto. Este mismo exceso de la producción fotosintética implica otra gran diferencia.

c) Son habitantes del dominio planctónico en aguas de salinidades bajas y en aguas con materia orgánica. Lugares ideales para colectarlas son los canales de Cuernavaca al sur oriente de la ciudad de México; ahí viven en la columna de agua o entre el sistema radicular libre del “Lirio acuático”. Desde luego, estas son microscópicas y se requiere la revisión de varias muestras para poder observarlas en abundancia. Si uno mete la mano al agua, toma la raíz de una planta de lirio y exprime ésta arriba de un frasco de 150ml, con mucha seguridad el agua de aspecto turbio (por no decir “medio podrida”) contendrá varios individuos de, sobre, todo, los géneros *Euglena* Ehrenberg y *Phacus* Dujardin.

d) El nivel de organización que presenta es el unicelular estricto.

e) Su reproducción es asexual.

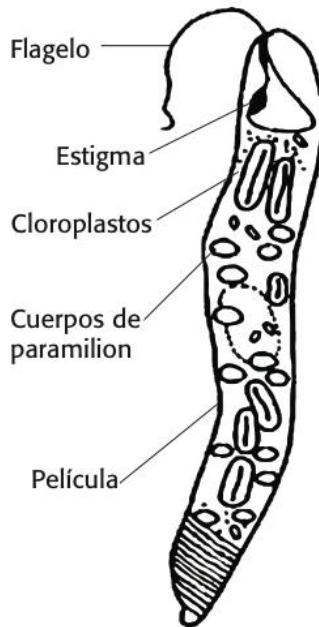


Figura 1. Morfología general de los euglenoideos (Modificado de Garduño et al., 2008).

<sup>5</sup> Dreckmann, K. M., Senties, A. y Nuñez, M. L. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio*. Biología de Algas. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa: México. p. 43-44.

## **Objetivo**

- Observar diferentes tipos de flagelos en euglenoideos.

## **Material por equipo:**

- Muestras de raíces de lirio acuático
- Muestras de fitoplancton de charcos, presas o lagos
- Microscopio estereoscópico
- Microscopio compuesto
- 1 Caja de Petri
- Agujas y pinzas de disección
- Aceite de inmersión
- Papel seda
- Colorantes (Iugol, safranina, cristal violeta, verde yodo, azul de metileno, entre otros).
- Portaobjetos y cubreobjetos
- Pipeta Pasteur

## **Desarrollo**

Con una pipeta Pasteur tome una alícuota (pequeña cantidad que se dice es representativa de la muestra) del agua recolectada y póngala sobre el portaobjetos. Observe a los organismos en vivo bajo un microscopio compuesto. Agregue una gota de colorante (el que el profesor indique) y observe nuevamente con el microscopio. Haga lo mismo con las muestras de exprimido de sistema radicular de lirio acuático.

## **Resultados**

Elaborar esquemas o tomar evidencia fotográfica de diferentes ejemplares de euglenoideos poniendo especial atención en los flagelos indicar el objetivo (10X, 40X, 100X) al que fueron hechas las observaciones.

Esquematizar lo observado al microscopio compuesto tanto en la preparación hecha de agua recolectada en charcos como en la preparación hecha con agua de raíz de lirio acuático. Hacer comparaciones de lo observado.

## **Discusión**

Se sugiere discutir sobre los tipos de flagelo encontrados de acuerdo a la lectura del anexo 3. Además de las diferencias al observar el material en vivo y fijado.



## ESTRATEGIA DIDÁCTICA 5

Transformación de energía. *Tipos de cloroplastos y mitocondrias de las algas.*



### I. DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología I
SEMESTRE ESCOLAR	Tercer Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

### II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 2. ¿Cuál es la unidad estructural y funcional de los sistemas biológicos?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo:</b> Al finalizar, el alumno: Identificará las estructuras y componentes celulares a través del análisis de la teoría celular para que reconozca a la célula como la unidad estructural y funcional de los sistemas biológicos.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos:</b> Reconoce a la mitocondria y el cloroplasto como los principales orgánulos encargados de la transformación energética. <b>Aprendizajes operativos:</b> 1. Identifica las características principales de la mitocondria y el cloroplasto. 2. Describe las funciones de transformación energética de la mitocondria y el cloroplasto. 3. Ejemplifica diferentes tipos de cloroplastos y mitocondrias en organismos algales.
TEMA(S)	Tema 2. Estructura y función celular ● Transformación de energía

### III. ESTRATEGIA

Las actividades de esta estrategia buscan la identificación de las características principales de la mitocondria y el cloroplasto, así como la descripción de sus funciones de transformación de energía (respiración celular y fotosíntesis), y como ejemplo los estudiantes reconocerán diferentes tipos de

cloroplastos (tilacoides por banda y su relación con el retículo endoplásmico), mitocondrias (laminares y tubulares) y pigmentos (clorofilas a, b, c1, c2, ficobilisomas y fucoxantina).

#### IV. SECUENCIA

<b>TIEMPO DIDÁCTICO</b>	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
<b>DESARROLLO Y ACTIVIDADES</b>	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)</p> <p>Los estudiantes realizan una investigación sobre las características principales de la mitocondria y el cloroplasto y registra sus hallazgos en su cuaderno, además de acompañar con ilustraciones alusivas</p> <p>De apertura (1 hora)</p> <p>En clase el estudiante identifica las características principales del cloroplasto y la mitocondria realizando un dibujo en una hoja blanca (sin consultar sus apuntes) represando a cada organelo e indique sus estructuras (tomar como referencia el anexo 1. Información general y esquemas de mitocondria y cloroplasto). Al finalizar comparte sus resultados con sus compañeros de mesa de trabajo.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(2 hora)</p> <p>El profesor indica los objetivos de la sesión. Los estudiantes se dividen en nueve equipos cada equipo analizará y se apropiará de la información de una diapositiva que le proporcionará el profesor de acuerdo a los anexos 2. Presentación: Fotosíntesis y 3. Presentación: Respiración celular. Cuando el profesor determine que los equipos son capaces de explicar su información al resto de grupo, se proyectarán las presentaciones y los estudiantes expondrán.</p> <p>(1 horas)</p> <p>Los estudiantes leerán por parejas la Lecturas: Cloroplastos, pigmentos fotosintéticos y mitocondrias (tipo de cloroplastos y tipos de mitocondrias en algas) (anexo 4) y Cloroplasto en algas (anexo 5). Realizarán la actividad: Tipos de cloroplastos y mitocondrias en algas (anexo 6), al finalizar comparan sus resultados con su compañero.</p> <p><b>Actividades de cierre:</b> (1 hora)</p> <p>Los estudiantes resuelven de manera individual ejercicios de conocimientos sobre el tema como el propuesto en el anexo 7, es pertinente que el profesor</p>

	adecue otros ejercicios en esta parte de la estrategia.
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b>	<p>Recursos bibliográficos o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Aula-laboratorio de trabajo. Computadora y proyector. Pizarrón y gises de colores o pintarrón y marcadores.</p> <p>Anexo 1. Información general y esquemas: Mitocondria y cloroplasto.</p> <p>Anexo 2. Presentación: Fotosíntesis.</p> <p>Anexo 3. Presentación: Respiración celular.</p> <p>Anexo 4. Lectura: Pigmentos fotosintéticos y mitocondrias (tipos de cloroplastos y mitocondrias en algas).</p> <p>Anexo 5. Lectura: Cloroplasto en algas.</p> <p>Anexo 6. Actividad: Tipos de cloroplastos y mitocondrias en algas.</p> <p>Anexo 7. Ejercicios: Conocimientos y habilidades adquiridas del tema.</p>
<b>EVALUACIÓN</b>	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se juntaran puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b></p> <p>Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto</p> <p>Actividad de inicio (apertura): dibujo individual.....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b></p> <p>Primera actividad de desarrollo: exposición por equipo.....2 puntos</p> <p>Segunda actividad de desarrollo: actividad de identificación por parejas..3 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b></p> <p>Actividad de cierre: ejercicios de conocimiento.....3 puntos</p> <p>La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.</p>

## V. REFERENCIAS DE APOYO

<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.</b>	<p>Portal académico. (2019). Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado en Julio, 2019 de:  <a href="https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad1/estructuraseucariotas/animalesvegetales">https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad1/estructuraseucariotas/animalesvegetales</a></p> <p>Portal académico. (2019). Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional</p>
---	--

	<p>Autónoma de México. Recuperado en Julio, 2019 de:  <a href="https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad1/estructuraseucariotas/estructurasorganelos">https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad1/estructuraseucariotas/estructurasorganelos</a></p> <p>Portal académico. (2019). Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado en Julio, 2019 de:  <a href="https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/fotosintesis/aspectosGenerales">https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/fotosintesis/aspectosGenerales</a></p> <p>Portal académico. (2019). Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado en Julio, 2019 de:  <a href="https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/respiracionAerobia/introduccion">https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/respiracionAerobia/introduccion</a></p>
<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR</b>	<p>Lee, R. E. (2008). <i>Phycology</i>. United States of America by Cambridge University Press, New York.</p> <p>Carmona J. J., Hernández M. M. A., y Ramírez V. M. (2004). <i>Algas. Glosario ilustrado</i>. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ciencias. México. Recuperado el 19 de julio, 2019 de:  <a href="http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/177709/2004%20Carmona%2C%20J.%20Libro%20-%20Glosario%20Algas.pdf?sequence=2">http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/177709/2004%20Carmona%2C%20J.%20Libro%20-%20Glosario%20Algas.pdf?sequence=2</a></p>
<b>COMENTARIOS ADICIONALES</b>	<p>Es responsabilidad del docente conocer la bibliografía recomendada para los estudiantes.</p>

## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Información general y esquemas: Mitocondria y cloroplasto.

**Anexo 2.** Presentación: Fotosíntesis.

**Anexo 3.** Presentación: Respiración celular.

**Anexo 4.** Lectura: Pigmentos fotosintéticos y mitocondrias (tipos de cloroplastos y mitocondrias en algas).

**Anexo 5.** Lectura: Cloroplasto en algas.

**Anexo 6.** Actividad: Tipos de cloroplastos y mitocondrias en algas.

**Anexo 7.** Ejercicios: Conocimientos y habilidades adquiridas del tema.

**Anexo 1.** Información general y esquemas: Cloroplasto y mitocondria.

## Cloroplasto y mitocondria

### Cloroplastos<sup>1</sup>

Son organelos característicos de las células vegetales que se localizan en las partes verdes de las plantas, tienen forma oval o de disco, miden entre 5 y 10  $\mu\text{m}$  de longitud y son muy abundantes, pudiendo haber entre 20 y 100 en cada célula. Son los responsables de realizar la fotosíntesis, es decir, de transformar la energía luminosa del sol en energía química (glucosa).

Los cloroplastos están constituidos por una membrana externa lisa muy **permeable** y una interna que encierra un medio semilíquido llamado **estroma** que contiene diversas **enzima**, moléculas de ADN y ribosomas. En el interior del estroma hay una serie de sacos o bolsas membranosas en forma de disco, huecas e interconectadas llamadas **tilacoides**, a la pila de ellos se le llama **granum** (plural grana) y están distribuidos por todo el estroma. En la membrana de los tilacoides se encuentra contenido un pigmento fotosintético de color verde llamado **clorofila**, que es el encargado de captar la energía luminosa del sol, junto con otros pigmentos que actúan como auxiliares. Entre las dos membranas se encuentra un espacio lleno de fluido llamado **espacio intermembranoso**.



Figura 1. Cloroplasto y sus partes.

<sup>1</sup> Portal académico. (2019). Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado en Julio, 2019 de:

<https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad1/estructuraseucariotas/animalesvegetales>

## Mitocondrias<sup>2</sup>

Son organelos de forma alargada que miden entre 0.5 a 1  $\mu\text{m}$  de diámetro, se encuentran en el citoplasma y su número puede variar dependiendo del tipo de célula. La función que llevan a cabo es la respiración aerobia, es decir, están relacionadas con la producción de energía (síntesis de ATP –Adenosin Trifosfato-). Su número puede aumentar de acuerdo a las necesidades de la célula ya que se pueden reproducir por fisión o gemación o bien, pueden disminuir por autofagia.

Están formadas por dos membranas: la externa que es lisa y permeable y la interna que es impermeable a iones y semipermeable a pequeñas moléculas. La membrana interna contiene una gran variedad de enzimas y se pliega para formar las crestas mitocondriales, lo que aumenta su superficie; el número de crestas varía dependiendo de la célula de que se trate. Entre las dos membranas se encuentra el espacio intermembranoso que está lleno de fluidos y una gran variedad de enzimas .

En el interior de la mitocondria, entre las crestas, está la matriz mitocondrial que también contiene una gran diversidad de enzimas, necesarias para la respiración, contiene además moléculas de ADN (Ácido Desoxirribonucleico), ribosomas, ARNt (Ácido Ribonucleico de Transferencia) y enzimas.

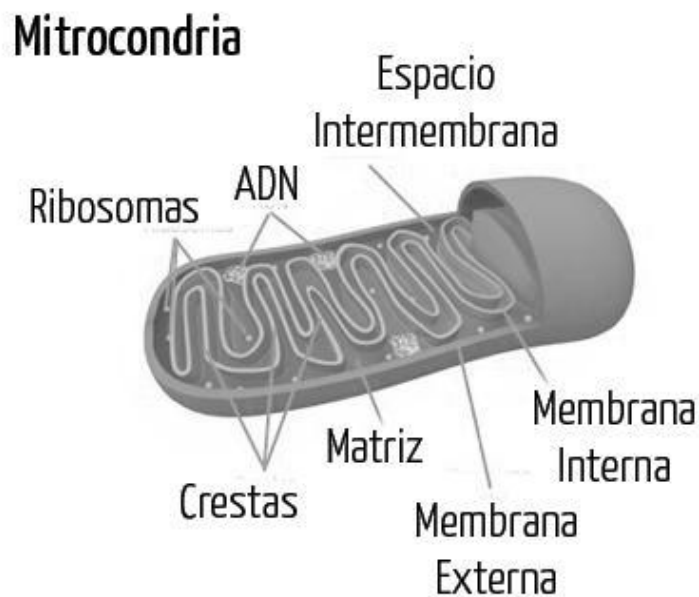


Figura 2. Mitocondria y sus partes.

<sup>2</sup> Portal académico. (2019). Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado en Julio, 2019 de:

<https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad1/estructuraseucariotas/estructurasorganelos>



**Anexo 2.** Presentación: Fotosíntesis.

## Fotosíntesis

El profesor se auxiliará del recurso didáctico digital presentado en el Portal académico del CCH-UNAM sobre el tema Fotosíntesis en línea<sup>3</sup>, para crear una presentación en archivo .ppt con las siguientes 4 diapositivas sugeridas: 1. ¿Qué es la fotosíntesis?, 2. Cloroplasto, 3. Pigmento fotosintético y 4. Fases de la fotosíntesis.

Diapositiva 1.

**1. ¿Qué es la fotosíntesis?**

La fotosíntesis es un proceso en el cual las plantas, **algas** y algunas bacterias transforman la energía luminosa en energía química, es decir utilizan la energía luminosa para formar compuestos orgánicos y oxígeno a partir de dióxido de carbono y agua. Los productos que se obtienen de la fotosíntesis son indispensables para mantener la vida de las plantas y de manera indirecta para la subsistencia de los organismos **heterótrofos**. La ecuación general de la fotosíntesis se puede representar de la siguiente manera.

**Fotosíntesis**

$$6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{Clorofila}]{\text{Energía luminosa (luz)}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$$

**Fotosíntesis (fórmula resumida)**

$$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{Clorofila}]{\text{Energía luminosa (luz)}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$$

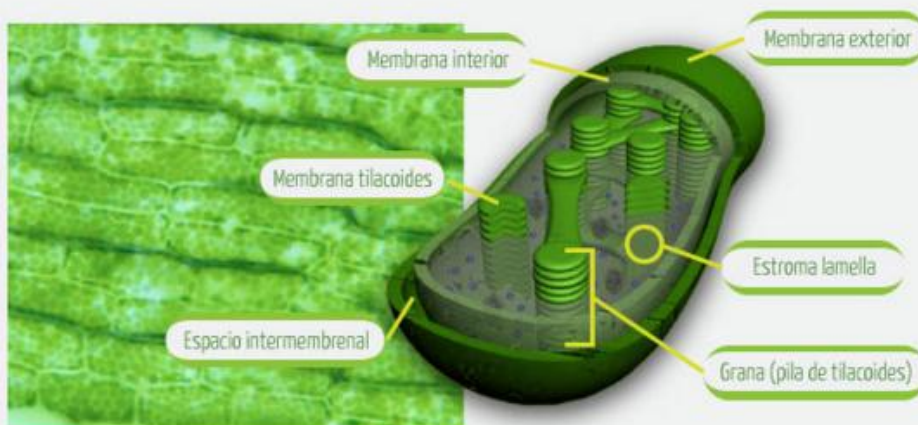
<sup>3</sup> Portal académico. (2019). Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado en Julio, 2019 de: <https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/fotosintesis/aspectosGenerales>

## 2. Cloroplasto



El proceso de la fotosíntesis se desarrolla en los cloroplastos de las células vegetales y algas. Son organelos celulares que presentan forma de ovalo con una membrana interna y otra externa que lo envuelve, contiene en su interior iones y enzimas a las que se le denomina estroma, en este espacio se realiza la fase independiente de la luz o fase oscura, dentro del estroma existe una red compleja de discos conectados entre si llamados tilacoides, en donde se realiza la fase fotosintética dependiente de la luz, sobre estos se encuentran los **pigmentos** fotosintéticos como la clorofila; los tilacoides se apilan entre si para formar una nueva estructura llamada grana.

### Células de elodea con numerosos cloroplastos



Estructuras presentes en un cloroplasto

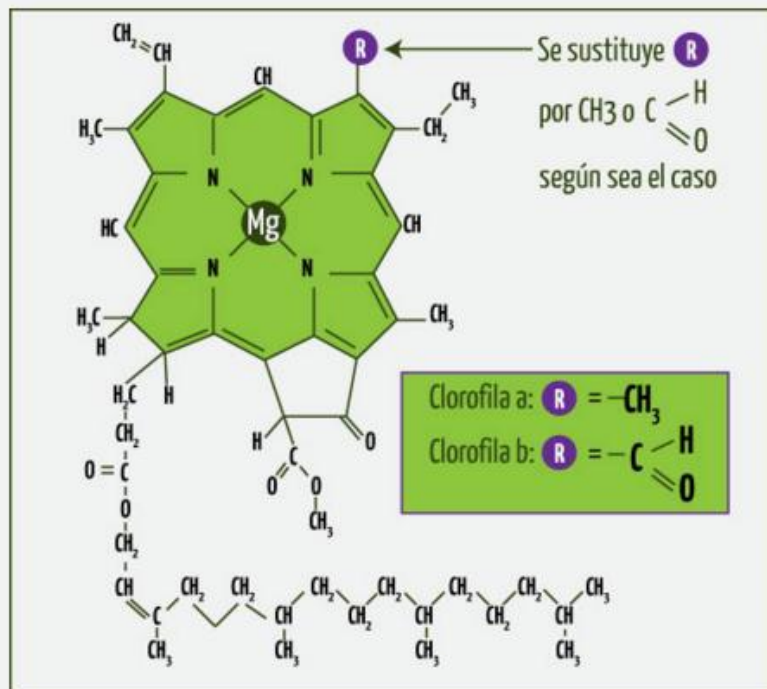
### 3. Pigmentos fotosintéticos

En los **eucariontes** los pigmentos o moléculas fotosintéticas que realizan la fotosíntesis están localizados en los tilacoides, estos pigmentos son: la clorofila a, clorofila b, **carotenoides** y **xantofilas** (conocidos estos últimos como **pigmentos antena**). En algunos **procariontes** o bacterias el fenómeno de la fotosíntesis se realiza en la membrana plasmática y los pigmentos que la realizan son la bacterioclorofila.

Observa el siguiente video para que entiendas más sobre el origen y participación de los pigmentos en el proceso de fotosíntesis:



En la imagen puedes observar que la única diferencia estructural entre ambos tipos de clorofila es que el  $\text{CH}_3$ , de la clorofila a, es reemplazado por el  $\text{COH}$  en la clorofila b.



Diapositiva 4.

## 4. Fases de la fotosíntesis

El proceso de la fotosíntesis se realiza en dos fases, la fase luminosa y la fase oscura, esta última también se denomina fase independiente de la luz o **ciclo de Calvin**.

En la fase luminosa, la luz que incide sobre el tilacoide y sobre la clorofila propicia que se exciten los electrones y que además se produzca la **hidrólisis** del agua. Por este proceso la energía luminosa provoca que el adenosin difosfato (ADP) se una a un fosforo inorganico (Pi) para formar adenosin trifosfato (ATP), por otro lado, la nicotinamida adenina dinucleotido fosfato (NADP) acepta protones (H<sup>+</sup>) para formar el NADPH. En este proceso el agua que se hidrolizó permite que se libere oxígeno en la atmósfera como producto secundario.

En la fase oscura el ATP y el NADPH que se forman en la fase luminosa se utilizan junto con el CO<sub>2</sub> atmosférico para producir moléculas orgánicas sencillas como la glucosa.

En el siguiente video se puede apreciar el proceso general de la fotosíntesis que detallaremos más adelante.



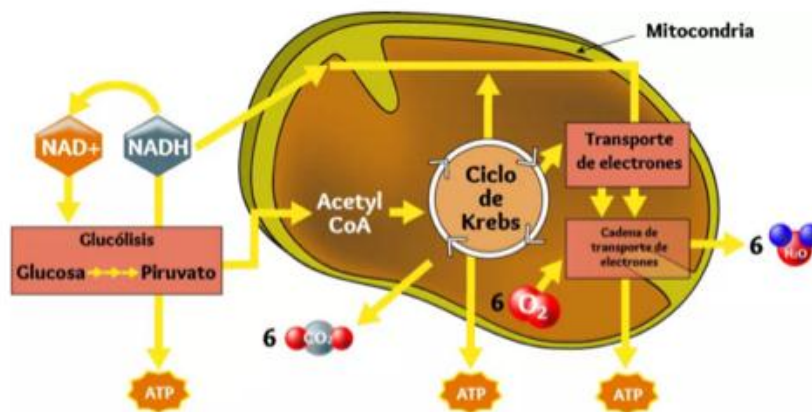
**Anexo 3.** Presentación: Respiración celular.

## Respiración celular

El profesor se auxiliará del recurso didáctico digital presentado en el Portal académico del CCH-UNAM sobre el tema respiración celular<sup>4</sup>, para crear una presentación en archivo .ppt con las siguientes 5 diapositivas sugeridas: 1. Introducción a la respiración celular, 2. Glucólisis, 3. Ciclo de Krebs, 4. Cadena y fosforilación y 5. Proceso de la respiración celular.

Diapositiva 1. Introducción a la respiración celular.

La respiración celular es el proceso por el cual las células degradan moléculas de alimento (carbohidratos, proteínas y lípidos) para sintetizar energía en forma de moléculas de **ATP**. Este proceso se realiza paulatinamente por **enzimas** específicas que controlan una serie de **reacciones de óxido-reducción** en las que las moléculas combustibles son oxidadas y degradadas, y liberan protones que son captados por **coenzimas**.



La respiración ocurre en distintas estructuras celulares; la primera fase de la respiración celular, la glucólisis, ocurre en el citoplasma, mientras que la segunda fase dependerá de la presencia o ausencia de O<sub>2</sub> en el medio. Si hay presencia de oxígeno la **respiración es aeróbica**, y ocurre en las mitocondrias, y si no hay oxígeno, la respiración es anaeróbica (fermentación) y ocurre en el citoplasma.

La respiración celular es un proceso de vital importancia pues por medio de ella se obtiene la energía necesaria para la realización de todas las demás funciones de la célula.

<sup>4</sup> Portal académico. (2019). Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado en Julio, 2019 de:

<https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/respiracionAerobia/introduccion>

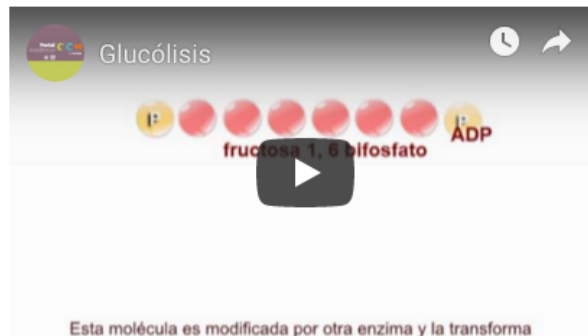
## Diapositiva 2. Glucólisis.

La glucólisis se produce en el citoplasma de células animales, vegetales y en algunos microorganismos. Durante la glucólisis la molécula de glucosa de seis carbonos (representada por 6 esferas) se transforma en varios compuestos intermedios, para finalmente dividirse en dos compuestos de tres carbonos cada uno (piruvato). En la glucólisis se consumen dos moléculas de ATP, pero se sintetizan cuatro durante todo el proceso, por lo tanto la ganancia neta es de dos ATP's. También se produce durante la glucólisis NADH, molécula que va a ser utilizada más tarde en el sistema de transporte de electrones (**tercera fase**).

Debido a que la glucólisis no utiliza oxígeno, el proceso se considera anaeróbico y para ciertos organismos anaerobios, como algunas bacterias y levaduras, la glucólisis es la única fuente de energía.



A través de la siguiente animación podrás observar el proceso de glucólisis, en donde la molécula de glucosa se transformará a través de 9 reacciones en dos moléculas de piruvato.



## Diapositiva 3. Ciclo de Krebs.

Las dos moléculas de piruvato formadas por la glucólisis son transformadas en dos moléculas de acetilcoenzima (acetil-CoA) en el citoplasma, posteriormente éstas entran a la mitocondria liberando  $\text{CO}_2$ . La molécula de acetil-CoA se divide en dos moléculas, acetil y coenzima A, el acetil (molécula de dos átomos de carbono) es transferido a una molécula de oxalacetato (perteneciente al ciclo de Krebs).

En el ciclo se llevan a cabo una serie de reacciones en las que hidrógenos y electrones son transferidos a moléculas  $\text{NAD}^+$  y  $\text{FAD}$ , para producir  $\text{NADH}$  y  $\text{FADH}_2$ , además se produce ATP y nuevamente la molécula de oxalacetato se encuentra libre y lista para aceptar a otra molécula de acetil-CoA. Durante este ciclo se produce además  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y ATP.

Observa en la siguiente animación cómo es que ocurre en el ciclo de Krebs. Las moléculas involucradas en este ciclo están representadas por esferas, las cuales muestran los átomos de carbono que las constituyen:



#### Diapositiva 4. Cadena y fosforilación.

Esta fase de la respiración celular se produce en la membrana interna de las mitocondrias, ahí un complejo de enzimas concentradas en la membrana (CoQ y CytC) actúan aceptando electrones y pasándolos a las siguientes enzimas. La energía de los electrones permite que los hidrógenos pasen a través de la membrana hasta el espacio intermembranal de la mitocondria (los electrones y protones provienen de las moléculas NADH y FADH<sub>2</sub>). Toda esta actividad, permite al final que moléculas de oxígeno acepten electrones y protones, y formen H<sub>2</sub>O, pero además la transferencia de hidrógenos a través de la membrana permite la producción de moléculas de ATP. El total de moléculas de ATP producidas en el proceso de respiración celular es de 36.

El papel del oxígeno en la respiración celular es sustancial. Como receptor final de electrones, el oxígeno es responsable de la eliminación de los electrones del sistema. Si el oxígeno no está disponible, los electrones no podrían pasar entre las coenzimas, la energía de los electrones no podría ser liberada.

**En los seres humanos, la respiración es el proceso fundamental que lleva oxígeno al cuerpo para ser entregado a las células que participan en la respiración celular.**

A continuación observa el proceso completo en la imagen animada:



## Diapositiva 5. Proceso de la respiración celular.

Como se ha visto, la respiración celular es el motor de las diversas formas de vida, desde las más simples hasta las más complejas, y éstas dependen de la energía química que se asimila desde el medio ambiente por medio de las células y se transfiere de una molécula a otra en forma escalonada en su interior.

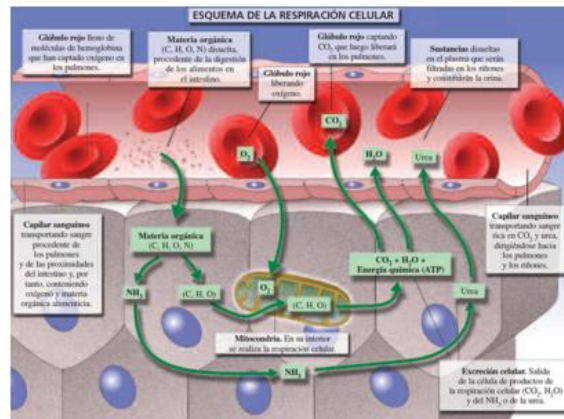
En nuestro organismo, la respiración como un proceso celular se divide en dos fases:

- 1 La respiración celular y
- 2 transporte de gases producto de la respiración celular.

En el primer caso, las moléculas como la glucosa y el oxígeno (gas que entra por el sistema respiratorio) viajan a través del torrente sanguíneo, y se difunden a través de las paredes de los capilares y venas, hasta llegar a las membranas de las células; una vez ahí se producen todas las reacciones químicas propias de la respiración celular. Los productos de estas reacciones como son el  $\text{CO}_2$ , el  $\text{H}_2\text{O}$ , regresan al torrente sanguíneo, y en el caso del  $\text{CO}_2$  (gas) se intercambia por  $\text{O}_2$ , en los alveolos de los pulmones.

Observa en el siguiente esquema cómo los eritrocitos de la sangre intercambian moléculas como el  $\text{O}_2$  (gas),  $\text{CO}_2$  (gas),  $\text{H}_2\text{O}$ , ATP y materia orgánica producto de la respiración de las células que los rodean.

Da clic en la siguiente imagen para que puedas ver con más detalle cómo es que se lleva a cabo el proceso de la respiración celular revisado a lo largo de este material.



A continuación se resume en tres pasos el proceso de la respiración celular:



### Para saber más

Todas las actividades diarias necesitan energía. Los humanos, como cualquier otro ser vivo, necesitan combustible para llevar a cabo sus actividades, igual que los automóviles necesitan gasolina para funcionar. Para producir todo este trabajo físico, nuestros cuerpos digieren moléculas presentes en la comida y extraen su energía. Dependemos de la respiración celular, y de que ésta funcione correctamente para sobrevivir, ya que de ella obtenemos la energía necesaria para realizar funciones vitales o simplemente, relajarnos.



Revisa este video para que conozcas más acerca de la **Respiración Celular**



## **Pigmentos fotosintéticos y mitocondrias <sup>5</sup>** (tipos de cloroplastos y mitocondrias en algas)

Lee (2008)

### **Plástidos**

El tipo básico de plástido en las algas es un cloroplasto, un plástido capaz de la fotosíntesis. Chromoplast es sinónimo de cloroplasto; en la literatura más antigua, un cloroplasto que tiene un color diferente al verde a menudo se llama cromoplasto. Un proplastido es un plástido reducido con pocos o ninguno de los tilacoides. Un proplastido usualmente se convertirá en un cloroplasto, aunque en algunas algas heterótrofas sigue siendo un proplastido. Un leucoplasto o amiloplasto es un plástido incoloro que se ha adaptado para la acumulación de producto de almacenamiento.

\*En Rhodophyta y Chlorophyta, los cloroplastos están limitados por la doble membrana de la envoltura de cloroplasto (Fig. 1 (a), (e)). En las otras algas eucariotas, la envoltura del cloroplasto está rodeada por una de las dos membranas del retículo endoplásmico del cloroplasto (cloroplasto E.R.), que tiene ribosomas unidos a la cara externa de la membrana adyacente al citoplasma. El cloroplasto E.R. es el remanente de la membrana de la vacuola de los alimentos y / o la membrana plasmática involucrada en la endosimbiosis original que conduce a los cloroplastos en una endosimbiosis secundaria. En Euglenophyta y Dinophyta, hay una membrana de cloroplasto ER (Fig. 1 (c)). En Cryptophyta, Prymnesiophyta y Heterokontophyta, hay dos membranas de cloroplasto ER, con la membrana externa de cloroplasto ER usualmente continua con la membrana externa de la envoltura nuclear, especialmente si el número de cloroplastos es bajo (Fig. 1 (b), (d)).

La estructura básica del aparato fotosintético en un plástido consiste en una serie de vesículas membranosas aplanadas llamadas tilacoides o discos, y una matriz o estroma circundante. Los tilacidos contienen clorofilas y son los sitios de las reacciones fotoquímicas; la fijación de dióxido de carbono se produce en el estroma. Los tilacoides pueden estar libres entre sí o agrupados para formar bandas tilacoides. En las cianobacterias y Rhodophyta (Fig. 1 (a)), los tilacoides suelen estar libres entre sí, con ficobilisomas (que contienen las ficobiliproteínas) en la superficie de los tilacoides. Los ficobilisomas en la superficie de un tilacoide se alternan con los de la superficie de un tilacoide adyacente. Los ficobilisomas aparecen como gránulos de 35 nm cuando predomina la psicotertina, o como discos cuando predomina la ficocianina. En los miembros más primitivos del Rhodophyta, los tilacoides terminan cerca de la envoltura del cloroplasto, mientras que en los miembros avanzados del Rhodophyta están presentes los tilacoides periféricos, que incluyen el resto de los tilacoides. En el Cryptophyta, los cloroplastos contienen bandas de dos tilacoides (Fig. 1 (b)); Las ficobiliproteínas se dispersan dentro de los tilacoides. En Euglenophyta y Heterokontophyta, los tilacoides se agrupan en bandas de tres con una faja o banda periférica que corre paralela a la envoltura del cloroplasto. En la Dinophyta, Prymnesiophyta y Eustigmatophyceae, los tilacoides también están en bandas de tres, pero no hay una banda de faja (Fig. 1 (c), (d)). En la Chlorophyta, los tilacoides se presentan en bandas de dos a seis, con tilacoides que van de una banda a otra. El agrupamiento anterior de tilacoides algales en bandas se produce en condiciones de crecimiento normales. Las condiciones de crecimiento anormales comúnmente causan el amontonamiento de tilacidos y otras variaciones en la estructura.

---

<sup>5</sup> Lee, R. E. (2008). *Phycology*. United States of America by Cambridge University Press, New York. p. 10-22.

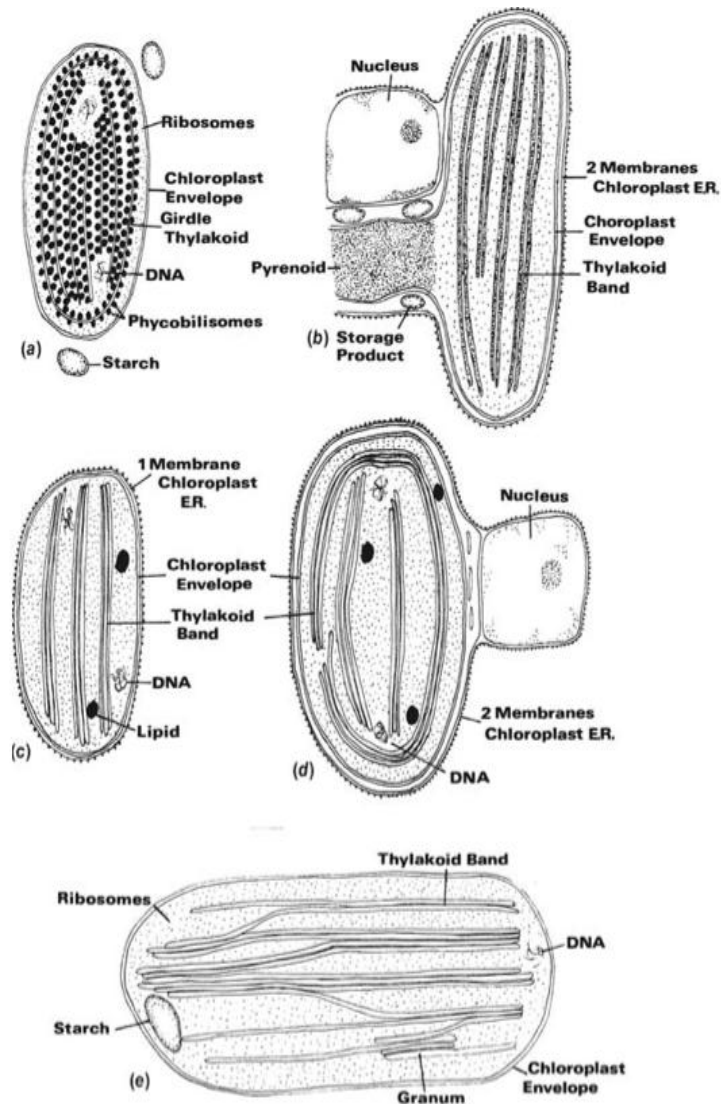


Figura 1. Tipos de estructura de cloroplastos en algas eucariotas. (a) Un tilacoide por banda, sin retículo endoplásmico de cloroplasto (Rhodophyta). (b) Dos tilacoides por banda, dos membranas de cloroplasto E.R. (Cryptophyta). (c) Tres tilacoides por banda, una membrana de cloroplasto E.R. (Dinophyta, Euglenophyta). (d) Tres tilacoides por banda, dos membranas de cloroplasto E.R. (Prymnesiophyta y Heterokontophyta). (e) De dos a seis tilacoides por banda, sin cloroplasto E.R. (Chlorophyta).

Un pirenoide (Fig. 1 (b)) es una región diferenciada dentro del cloroplasto que es más densa que el estroma circundante y puede estar o no atravesada por tilacoides. Un pirenoide se asocia frecuentemente con el producto de almacenamiento. Los pirenoides contienen ribulosa 1, 5-bisfosfato carboxilasa / oxigenasa (Rubisco), la enzima que fija el dióxido de carbono (Jenks y Gibbs, 2000; Nagasato et al., 2003). En consecuencia, el tamaño del pirenoide variará dependiendo de la cantidad de Rubisco presente.

Rubisco existe en dos formas (Jenks y Gibbs, 2000; Zhang y Lin, 2003):

1 La forma I aparece en algunas bacterias, las cianobacterias, en todas las plantas verdes y no verdes. La forma I está compuesta por ocho subunidades grandes y ocho subunidades pequeñas. La forma I tiene una alta afinidad por el CO<sub>2</sub> y una baja eficiencia catalítica (baja tasa de fijación de CO<sub>2</sub>). En las algas verdes,

euglenoides y plantas verdes, la subunidad grande está codificada por el ADN del cloroplasto y la subunidad pequeña por el ADN nuclear. En la cianelle (cianobacteria endosimbiótica) de *Cyanophora paradoxa* y en algunas algas no verdes, ambas subunidades están codificadas por el ADN del cloroplasto.

2 La forma II se presenta en algunas eubacterias y en los dinoflagelados y está compuesta por dos subunidades grandes. La forma II tiene una baja afinidad por el CO<sub>2</sub> y una alta eficiencia catalítica.

El ancestro común de toda la ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa probablemente fue similar a la Forma II y se adaptó a las condiciones anaeróbicas y a las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> que prevalecen en la Tierra antigua (Haygood, 1996). La forma I evolucionó a medida que la atmósfera de la Tierra se oxigenaba y la concentración de CO<sub>2</sub> disminuía y, con ello, la necesidad de una mayor afinidad por el CO<sub>2</sub>. Sin embargo, la mayor afinidad por el CO<sub>2</sub> en la Forma I se produjo al precio de la reducción de la eficiencia catalítica.

Los cloroplastos contienen pequeñas gotas de lípidos esféricas (30–100 nm) entre los tilacoides (Fig. 1. (c), (d)). Estas gotitas de lípidos sirven como reserva de lípidos dentro del cloroplasto.

Muchas algas móviles tienen grupos de glóbulos lipídicos carotenoides compactos que constituyen una mancha ocular de color rojo anaranjado que interviene en la respuesta a la luz. Las algas móviles muestran tres tipos de respuestas a la luz (Kawai y Kreimer, 2000): fototaxis, fotofobia y deslizamiento.

1 Fototaxis. En la fototaxis, la orientación del movimiento celular se efectúa por la dirección y la intensidad de la luz. Las células se mueven hacia la luz en la fototaxis positiva y se alejan de la luz en la fototaxis negativa. El fotorreceptor en el alga verde *Chlamydomonas* es chlamyrodopsin en la membrana plasmática sobre la zona ocular. Chlamyrodopsin contiene un cromóforo retiniano 6-S-trans todo trans que sufre una isomerización 13-trans a cis durante la iluminación (Hegemann, 1997). La mancha ocular sombrea periódicamente el foto-receptor a medida que la célula gira durante la natación. La zona ocular tiene una estructura diferente en los diferentes grupos de algas y se cubrirá en los capítulos correspondientes. Las manchas oculares tienen ciertas características básicas (Kawai y Kreimer, 2000): (1) Las manchas oculares generalmente tienen glóbulos lipídicos ricos en carotenoides empaquetados en una disposición hexagonal altamente ordenada. (2) Las mirillas suelen ser estructuras únicas en posiciones periféricas, con mayor frecuencia orientadas perpendiculares al eje de la trayectoria de natación.

La fototaxis en *Chlamydomonas* es controlada por la paliza de cada flagelo. El flagelo más cercano a la mancha ocular es el flagelo cis, mientras que el flagelo trans está más alejado de la mancha ocular. La luz es recibida por el fotorreceptor que controla la apertura y el cierre de los canales de calcio y el nivel de concentración de calcio intraflagelar. La concentración de calcio dentro del flagelo afecta las interacciones de los radios radiales con el par central de microtúbulos (Mitchell, 2000). Cuando la membrana plasmática de *Chlamydomonas* se hace permeable, las células de *Chlamydomonas* nadan normalmente a 10<sup>-8</sup> M de calcio en el medio. La disminución del calcio a 10<sup>-9</sup> M reduce la velocidad de la carrera del trans flagelo, mientras que el aumento del calcio a 10<sup>-7</sup> M reduce la velocidad de la carrera del flagelo cis.

2 Fotofobia (photoshock). La fotofobia es un cambio en la dirección del movimiento de la célula causado por un cambio rápido en la intensidad de la luz, independientemente de la dirección de la luz. Las células que nadan se detienen y cambian el patrón de batido de un golpe flagelar asimétrico normal a un golpe simétrico que impulsa la célula hacia atrás. Al final de la respuesta fotofóbica, las células se voltean y vuelven a nadar en una nueva dirección. Experimentos de laboratorio con *Chlamydomonas* vincula las respuestas fotofóbicas a incrementos en el calcio por encima de 10<sup>-6</sup> M (Mitchell, 2000). A diferencia de la fototaxis, las interacciones entre los radios radiales y los microtúbulos del par central no son necesarias para una reacción fotofóbica.

3 Deslizamiento (quiescence). En deslizamiento, los flagelos dejan de latir y se adhieren a una superficie o una interfaz aire / agua (Mitchell, 2000). Las células pueden deslizarse sobre la superficie con un flagelo

liderando activamente y el otro de forma pasiva. Las células pueden cambiar de dirección cambiando qué flagelo está activo. La motilidad deslizando puede ser un fenómeno común entre los organismos que viven en la capa delgada de agua sobre las partículas del suelo.

En el Chlorophyta, Cryptophyta y la mayoría de Heterokontophyta, la mancha ocular se presenta como gotitas de lípidos en el cloroplasto. En la Euglenophyta, Eustigmatophyceae y Dinophyta, la mancha ocular se presenta como un grupo de gotitas de lípidos limitadas a la membrana, libres de cloroplasto.

La mayoría de los cloroplastos contienen ADN procariótico en un área del cloroplasto sin ribosomas 70S (Fig. 2).

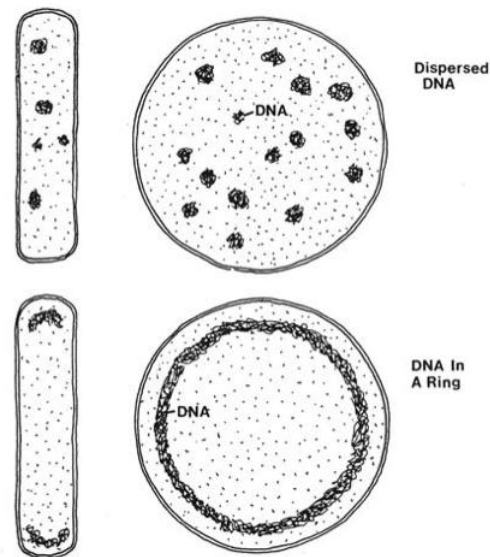


Figura 2. Dibujo semidiagramático de los dos tipos de distribución de ADN en cloroplastos de algas. Se dibujan vistas laterales y faciales de los plástidos. (Adaptado de Coleman, 1985.)

El ADN es un remanente evolutivo de la cianobacteria involucrada en la endosimbiosis que conduce al cloroplasto. Las microfibrillas de ADN individuales son circulares, están unidas a las membranas de cloroplastos y carecen de proteínas básicas (histonas). Las algas se pueden dividir en dos grupos generales según la distribución del ADN en los plástidos (Coleman, 1985). En el primer grupo, los grupos de ADN (nucleoides) están dispersos a lo largo de los plástidos. Este grupo incluye a Cryptophyta, Dinophyta, Prymnesiophyta, Eustigmatophyceae, Rhodophyta y Chlorophyta. En el segundo grupo, el ADN se produce en un anillo justo dentro de la faja lamelar. Este grupo incluye a Chrysophyceae, Bacillariophyceae, Raphidophyceae y Xanthophyceae (con la excepción de *Vaucheria* y tres géneros que se sabe que carecen de lamelas de la faja: *Bumilleria*, *Bumilleriopsis* y *Pseudobumilleriopsis*). La Euglenophyta no encaja en ningún grupo, mostrando una distribución variable del ADN del cloroplasto.

Las algas fotosintéticas tienen clorofila en sus cloroplastos. La clorofila está compuesta por un sistema de anillo de porfirina que es muy similar al de hemoglobina pero tiene un átomo de magnesio en lugar de un átomo de hierro. Las algas tienen cuatro tipos de clorofila, a, b, c (c1 y c2), y d. La clorofila a es el pigmento fotosintético primario (el receptor de luz en el fotosistema I de la reacción a la luz) en todas las algas fotosintéticas y varía entre el 0,3% y el 3,0% del peso seco. La clorofila a es insoluble en agua y éter de petróleo pero soluble en alcohol, dietil éter, benceno y acetona. El pigmento tiene dos bandas de absorción principales in vitro, una banda en la región de luz roja a 663 nm y la otra a 430 nm (Fig. 3).

Mientras que la clorofila a se encuentra en todas las algas fotosintéticas, las otras clorofilas de algas tienen una distribución más limitada y funcionan como pigmentos fotosintéticos accesorios. La clorofila b se

encuentra en Euglenophyta y Chlorophyta. La clorofila b funciona fotosintéticamente como un pigmento que recolecta luz y transfiere energía luminosa absorbida a clorofila a. La relación de clorofila a a clorofila b varía de 2: 1 a 3: 1. Las características de solubilidad de la clorofila a son similares a las de la clorofila b, y el clorofilo b in vitro tiene dos máximos de absorción principales en tono o metanol, uno a 645 nm y el otro a 435 nm (Fig. 3).

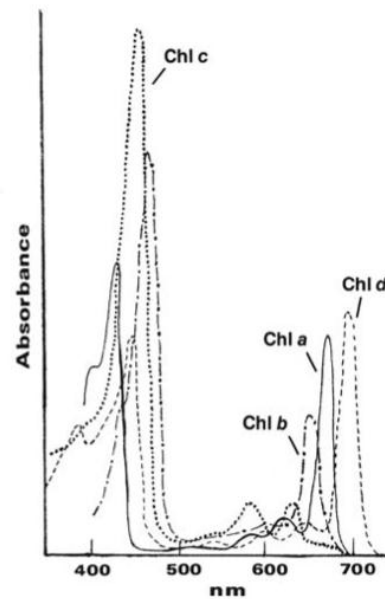


Figura 3. Los espectros de absorción de las clorofilas a, b, c, y d.

La clorofila c se encuentra en Dinophyta, Cryptophyta y la mayoría de Heterokontophyta. La clorofila c tiene dos componentes esencialmente diferentes: la clorofila c1 y c2. La clorofila c2 siempre está presente, pero la clorofila c1 está ausente en Dinophyta y Cryptophyta. La proporción de clorofila a a clorofila c varía de 1.2: 2 a 5.5: 1. La clorofila c funciona probablemente como un pigmento accesorio para el fotosistema II. El pigmento es soluble en éter, acetona, metanol y acetato de etilo, pero es insoluble en agua y éter de petróleo. La clorofila c1 extraída tiene máximos de absorción principal a 634, 583 y 440 nm en metanol, mientras que la clorofila c2 tiene máximos a 635, 586 y 452 nm.

La clorofila d se produce en algunas cianobacterias (Murakami et al., 2004). Tiene tres bandas de absorción principales a 696, 456 y 400 nm.

Los pigmentos de algas fotosintéticamente activos se reúnen en complejos de proteína y pigmento discretos que se pueden dividir funcionalmente en dos grupos (Grossman et al., 1990):

1 el centro de reacción fotoquímico que contiene clorofila a, donde la energía luminosa se convierte en energía química;

2 los complejos de captación de luz que sirven como antenas para recolectar y transferir la energía luminosa disponible al centro de reacción.

Los complejos de captación de luz utilizan diferentes complejos pigmentos de antenas para capturar la energía luminosa. Todos los complejos de captación de luz están compuestos por hélices de tres membranas (Fig. 4).

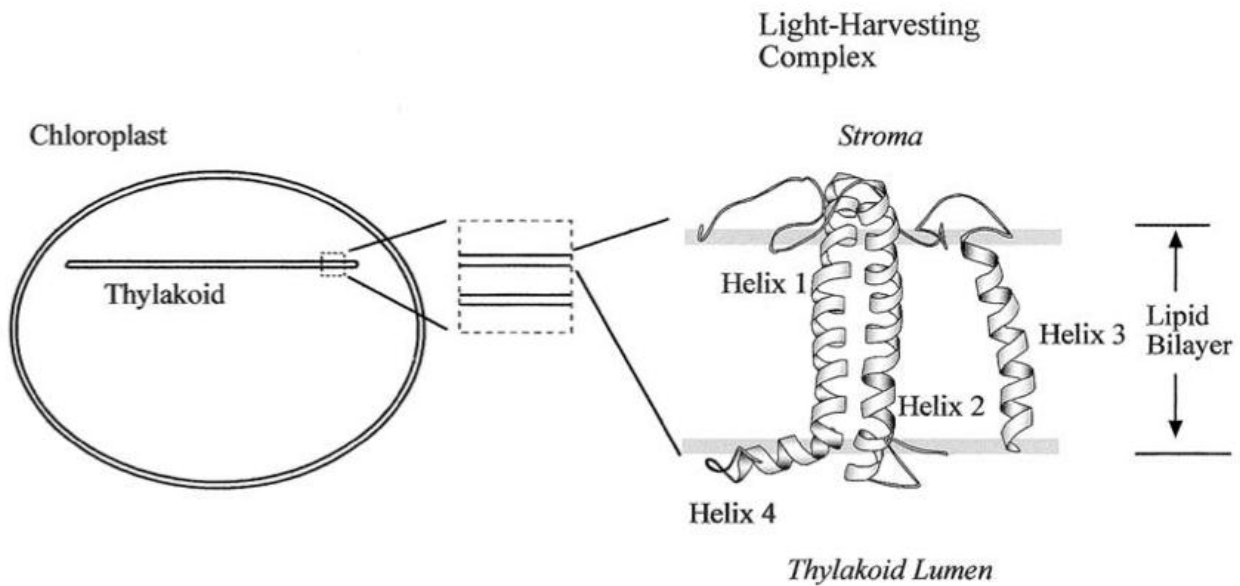


Figura 4. La estructura básica del complejo de captación de luz en todas las plantas eucariotas. Tres hélices transmembrana atraviesan la membrana. La similitud del complejo de captación de luz en todas las plantas eucarióticas es un argumento para el cloroplasto que surge de un solo evento endosimbiótico. (Modificado de Kuhlbrandt et al., 1994.)

1 Las algas verdes y las plantas superiores utilizan clorofila a / b proteínas de unión.

2 Las algas pardas y doradas (diatomeas, crisofitas, dinoflagelados, algas pardas y grupos relacionados) utilizan un complejo de clorofila a/c en fucoxantina que es parte integral de la membrana de los tilacoides. La proporción de fucoxantina a clorofila en este complejo es de aproximadamente 2: 1 y el color marrón o dorado característico de estas algas se debe al alto nivel de fucoxantina en estas células. Debido a la clorofila c y las xantofilas especiales, estos organismos son especialmente adecuados para captar la luz azul y verde, que son las más abundantes para aumentar la profundidad del océano. Este complejo de captación de luz también se compone de tres hélices que atraviesan la membrana y está estrechamente relacionado con el complejo de captación de luz en el primer grupo (Caron et al., 1996).

3 Las cianobacterias, las criptófitas y las algas rojas utilizan el ficobilisoma como el principal complejo de captación de luz.

Los carotenoides son pigmentos amarillos, anaranjados o rojos que generalmente se producen dentro del plástido, pero en ciertos casos pueden estar afuera. En general, los carotenoides naturales se pueden dividir en dos clases: (1) hidrocarburos libres de oxígeno, los carotenos; y (2) sus derivados oxigenados, las xantofilas. El caroteno más extendido en las algas es el  $\beta$ -caroteno (Fig. 5). Hay una gran cantidad de xantofilas diferentes, y las clorofitas tienen xantofilas que se parecen más a las de las plantas superiores. La fucoxantina (Fig. 5) es la xantofila principal en las algas de color marrón dorado (Chrysophyceae, Bacillariophyceae, Prymneophyophycea y Phaeophyceae), que le dan a estas algas su color característico. Al igual que las clorofilas, los carotenoides son solubles en alcoholes, benceno y acetona, pero insolubles en agua.

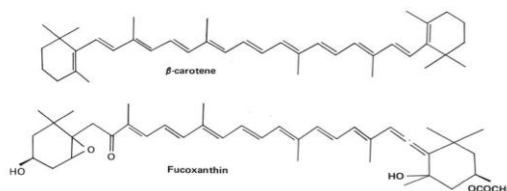


Figura 5. La estructura del B-caroteno y la fucoxantina.

Las cianobacterias y los cloroplastos de Rhodophyta y Cryptophyta han evolucionado complejos de antenas de membrana periférica que contienen fitobiliproteínas que transfieren energía de la luz a centros de reacción de photosystem II. Al igual que la clorofila b / c / d, las ficobiliproteínas amplían el rango de energía de la luz que se puede utilizar en la fotosíntesis. La luz tiende a volverse azul verdosa a medida que desciende por la columna de agua, y esta biliproteína absorbe mejor esta luz que la clorofila a.

Las ficobiliproteínas son pigmentos azules o rojos solubles en agua localizados en (Cyanophyta, Rhodophyta) o dentro de (Cryptophyta) tilacoides de cloroplastos de algas (Glazer, 1982). Se describen como cromoproteínas (proteínas coloreadas) en las que el grupo protésico (parte no proteica de la molécula) o cromóforo es un tetrapírol (pigmento biliar) conocido como ficobilina. El grupo protésico está estrechamente unido por enlaces covalentes a su apoproteína (parte proteica de la molécula) (ver Fig. 5). Debido a que es difícil separar el pigmento de la apoproteína, se usa el término ficobiliproteína. Hay dos apoproteínas diferentes,  $\alpha$  y  $\beta$ , que juntas forman la unidad básica de las ficobiliproteínas. A cualquiera de  $\alpha$  o  $\beta$  están unidos los cromóforos coloreados. El principal cromóforo "azul" que se encuentra en la ficocianina y la aloficocianina es la ficocianobilina, y el principal cromóforo "rojo" que aparece en la ficoeritrina es la ficoeritrobilina (Fig. 6).

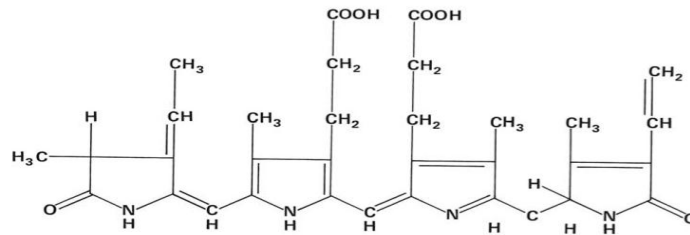


Figura 6. La estructura de la ficoeritrilina.

La clasificación general de las ficobiliproteínas se basa en sus espectros de absorción. Hay tres tipos de ficoeritrina: R-ficoeritrina y B-ficoeritrina en la Rhodophyta, y C-ficoeritrina en la Cyanophyta. También hay tres tipos de ficocianina: R-ficocianina de la Rhodophyta y C-ficocianina y aloficocianina de la Cyanophyta. Además, en el Cryptophyta hay tres tipos espectrales de ficoeritrina y tres tipos espectrales de ficocianina.

La subunidad básica de un ficobilisoma consiste en las apoproteínas  $\alpha$  y  $\beta$ , cada una de las cuales está unida a un cromóforo (Anderson y Toole, 1998; Samsonoff y MacColl, 2001) (Fig. 7).

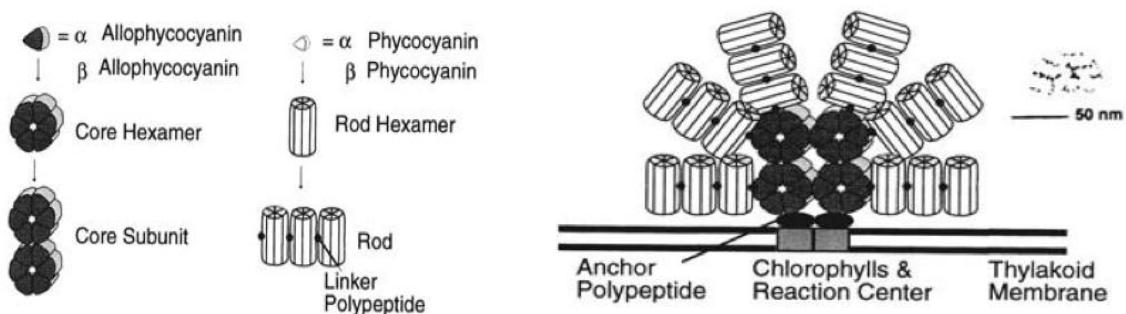


Figura 7. Dibujo de un ficobilisoma de la cianobacteria *Synechococcus*. (Adaptado de Grossman et al., 1993.)

En el núcleo del ficobilisoma  $\alpha$  y  $\beta$  están unidos a las aloficocianinas, que son las más cercanas a la clorofila en la ruta de transferencia de energía. En las varillas exteriores,  $\alpha$  y  $\beta$  se unen a la fitocianina o ficocianina. En el núcleo del ficobilisoma  $\alpha$  y  $\beta$  están unidos a la aloficocianina. Las moléculas  $\alpha$ ,  $\beta$  se ensamblan en hexámeros ( $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ) de forma cilíndrica. Los hexágonos que forman el núcleo del ficobilisoma se ensamblan

en pares, con los hexámeros de las varillas irradiando desde el núcleo. Los hexámeros se unen entre sí mediante polipéptidos enlazadores. Los polipéptidos enlazadores son básicos, mientras que los hexámetros son ácidos; esto sugiere que las interacciones electrostáticas son importantes en el ensamblaje de las fitobiliproteínas. Hay polipéptidos de alto peso molecular que anclan el ficobilisoma en el área de la membrana tilacoide que contiene el centro de reacción y las clorofilas asociadas.

En células intactas, la eficiencia global de la transferencia de energía desde el ficobilisoma a la clorofila a en los tilacoides supera el 90% (Porter et al., 1978).

Los adaptadores cromáticos cambian sus componentes de pigmento bajo diferentes longitudes de onda de luz (Fig. 8). Por ejemplo, la cianobacteria *Synechocystis* cultivada en luz verde produce ficoeritrina (de color rojo), ficocianina (azul) y aloficocianina (azul-verde) en una relación molar de aproximadamente 2:2:1; cuando se cultiva en luz roja, la proporción es de alrededor de 0.4:2:1. La estructura del ficobilisoma cambia de manera apropiada, con las barras periféricas que tienen más hexámeros de ficoeritrina bajo luz verde y menos hexámeros de ficocianina. Los hexámeros de núcleo de aloficocianina permanecen igual.

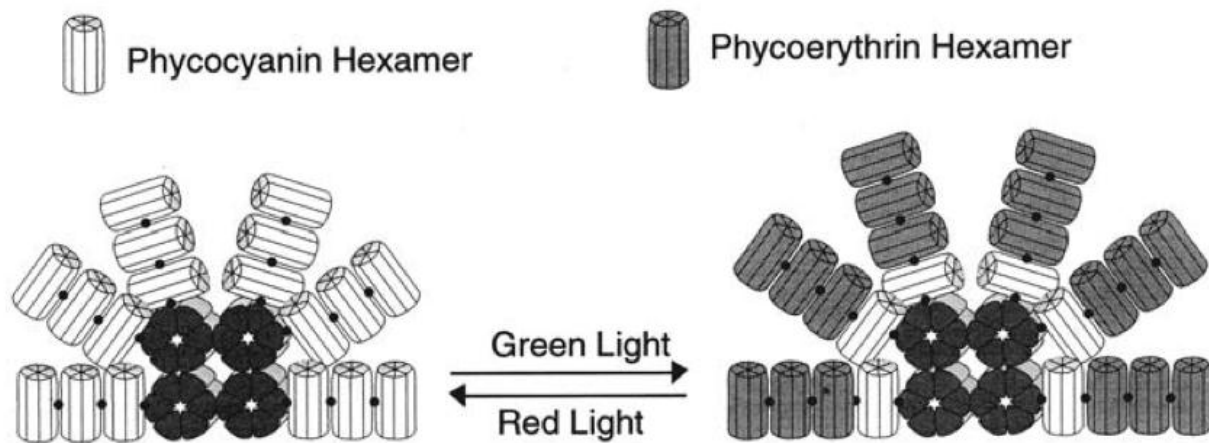


Figura 8. Adaptación cromática en un ficobilisoma de una cianobacteria.

La privación de células de nitrógeno da como resultado una degradación ordenada de los ficobilisomas (Fig. 9). Existe una degradación progresiva de los polipéptidos de varilla y enlazador de hexámero seguidos por los péptidos centrales. Los nuevos ficobilisomas se sintetizan rápidamente al agregar nitrógeno al medio. Los ficobilisomas son, por lo tanto, una fuente importante de nitrógeno interno y ofrecen a las algas que tienen ficobilisomas (cianobacterias, criptófitos y algas rojas) una importante ventaja ecológica en el océano abierto, predominantemente limitada en nitrógeno (Vergara y Niell, 1993).

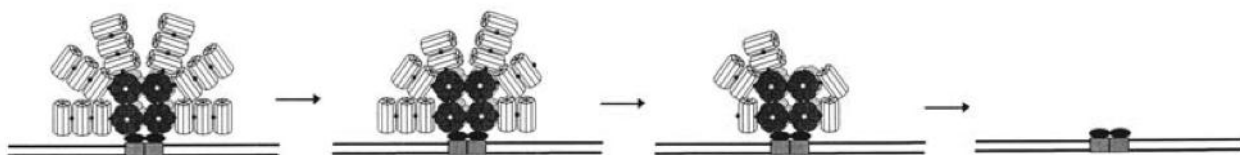


Figura 9. Descomposición del ficobilisoma en condiciones de privación de nitrógeno. (Adaptado de Grossman et al., 1993.)



## Mitocondrias y peroxisomas

Hay dos tipos de mitocondrias en las células de algas (Leipe et al., 1994). Las mitocondrias con crestas laminares planas aparecen en algas rojas, algas verdes, euglendidos y criptófitos (Fig. 10). Las mitocondrias con crestas tubulares ocurren en heterokonts y haptophytes.

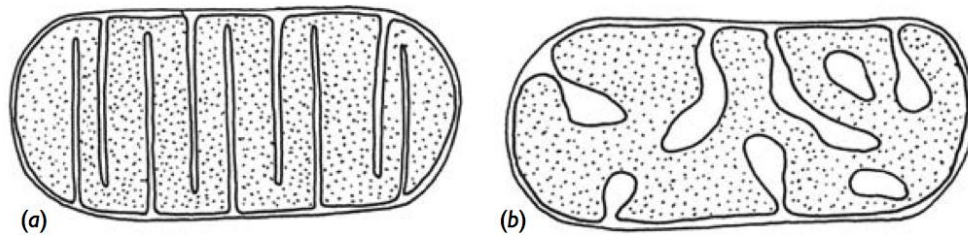


Figura 10. Dibujos de los dos tipos de mitocondrias que se producen en las algas. (a) Mitocondria con crestas lamelares planas. (in) Mitocondrias con crestas tubulares.

El glicolato, el principal sustrato de la fotorrespiración, se puede descomponer ya sea con glicolato deshidrogenasa en las mitocondrias, o con glucosila oxidasa en los peroxisomas, cuerpos delimitados por una sola membrana en el citoplasma. La distribución de las dos enzimas es la siguiente (Betsche et al., 1992; Iwamoto et al., 1996):

1 La glicolato deshidrogenasa se encuentra en las cianobacterias, criptofitas, euglenoides, diatomeas y algas verdes, con la excepción de las Charophyceae.

2 La glicolato oxidasa se encuentra en los glaucófitos, las algas rojas, las algas pardas y las Charophyceae en las algas verdes y las plantas superiores.

División de cloroplastos y mitocondrias.

Los cloroplastos y las mitocondrias se dividen al pellizcarse por la mitad para formar dos nuevos orgánulos. Un anillo divisor de plastidio (PD) o un anillo divisorio de mitocondria (MD) rodea el orgánulo en el área de fisión (Fig. 11) (Miyagishima et al., 2003; Osteryoung y Nunnari, 2003). Cada anillo se compone de dos partes, un anillo externo en el protoplasma fuera del cloroplasto y un anillo interno en el estroma dentro de la membrana interna del cloroplasto. Estos anillos también se denominan anillos FtsZ (filamentosos sensibles a la temperatura) después de una contraparte que está presente cuando las bacterias se dividen. La similitud es indicativa del origen endosimbiótico de los cloroplastos y la mitocondria de las bacterias. El anillo divisor de plastidio aparece en el área de división y comienza a contraerse después de que un microcuerpo haya migrado al anillo divisor de plásmido (Fig. 11). El anillo divisor de plastidio se contrae alrededor del área de fisión del plástido en asociación con proteínas GTPasa llamadas dinaminas. El anillo PD desaparece después de que se completa la fisión.

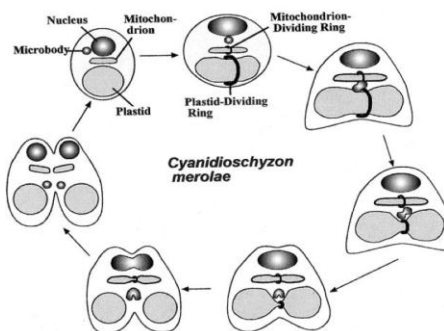


Figura 11. Representación esquemática del comportamiento del anillo divisor de plastidio y del anillo divisorio de mitocondria en el alga roja unicelular *Cyanidioschyzon merolae*.

Anexo 5. Lectura: Cloroplasto en algas.

## Cloroplasto en algas<sup>6</sup>

Carmona et al. (2004)

Cloroplasto: plastidio que contiene clorofila y por consiguiente, de color verde pasto; puede estar enmascarado por otros pigmentos en diversos grupos de algas. Rodoplasto: plasto de las rodofíceas por lo general teñido de rojo, debido a la presencia de ficoeritrina. Feoplasto: plasto de las feofíceas en que la ficoxantina, de color pardo domina sobre los demás pigmentos. Cromatóforo: sinónimo de plastidio o plasto. Plastidio: orgánulo de la célula provisto de pigmento. Existen plastidios de diferente tipo según sus pigmentos: verde, cloroplasto; blanco, leucoplasto; de otro color, cromoplasto. También pueden diferenciarse por el número de membranas que agrupan a los tilacoides, así como por el número de membranas que los envuelven (Figs. 1 y 2).

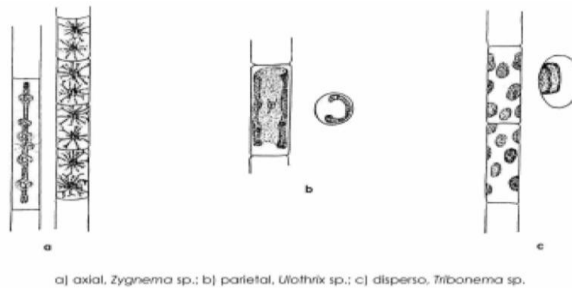


Figura 1. Los cloroplastos pueden tener diferente posición dentro de la célula **Axial**: en el eje celular. **Parietal**: en la periferia intracelular. **Disperso**: sin orden de posición en el interior de la célula.

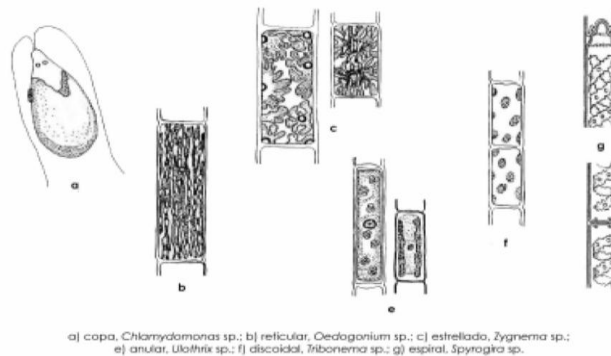


Figura 2. Por su forma se pueden distinguir los siguientes tipos: **Copa**: cubriendo por lo menos un hemisferio celular. **Reticular**: en forma de red. **Estrellado**: en forma de estrella. **Discoidal**: en forma de disco (lenticular). **Espiral**: en forma de cinta estrecha helicoidal. **Anular**: parietal en forma de anillo. **Pirenóide**: masa incolora fundamentalmente de proteínas, inmerso o periférico al cloroplasto. En Chlorophyceae se pueden distinguir al teñirse con lugol.

<sup>6</sup> Carmona J. J., Hernández M. M. A., y Ramírez V. M. (2004). *Algas. Glosario ilustrado*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ciencias. México. p. 48-50. Recuperado el 19 de julio, 2019 de:

<http://repositorio.fciencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/177709/2004%20Carmona%2C%20J.%20Libro%20-%20Glosario%20Algas.pdf?sequence=2>

**Anexo 6.** Actividad: Tipos de cloroplastos y mitocondrias en algas.

**Tipos de cloroplastos y mitocondrias en algas**

Indicaciones: De acuerdo a la información de la lectura del anexo 4, recorta las siguientes etiquetas y ubícalas en el cuadro correspondiente de la tabla 1, recuerda que varias se repiten. Al finalizar comenta tus resultados con los de tus compañeros.

Rodophyta

Cryptophyta

Dinophyta

Euglenophyta

Prymnesiophyta

Clorofila b

Clorofila c1

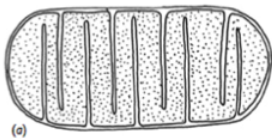
Clorofila c2

Clorofila a

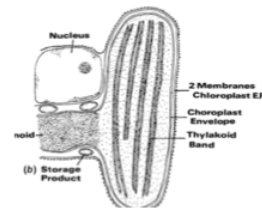
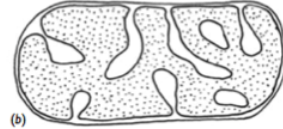
Fucoxantina

Ficobilisomas

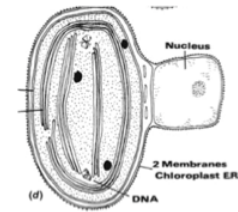
Mitocondria tubular



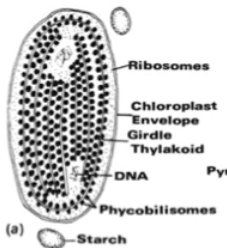
Mitocondria laminar



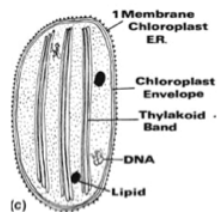
Cloroplasto b)



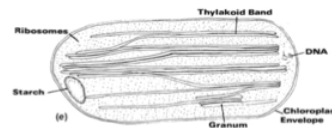
Cloroplasto d)



Cloroplasto a)



Cloroplasto c)



Cloroplasto e)

Heterokontophyta

Clorophyta

Cianobacterias

Organismo algal	Tipo de cloroplasto	Tipo de mitocondria	Complejos de captación de luz

Organismo algal	<i>Tipo de cloroplasto</i>	<i>Tipo de mitocondria</i>	<i>Complejos de captación de luz</i>

**Anexo 7.** Ejercicios: Conocimientos y habilidades adquiridas del tema.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES - PLANTEL ORIENTE  
BIOLOGÍA I - Cloroplastos y mitocondrias**

**Nombre del estudiante:** \_\_\_\_\_ **Grupo:** \_\_\_\_\_ **Fecha:** \_\_\_\_\_

Indicaciones: Contesta correctamente las siguientes preguntas.

1. ¿Cuáles son las funciones bioquímicas que se realizan en los cloroplastos?

---

---

---

2. ¿Cuáles son las funciones bioquímicas que se realizan mitocondrias?

---

---

---

3. Completa el siguiente cuadro

	Cloroplasto	Mitocondria
Materia prima		
Producto		

4. De acuerdo a sus funciones bioquímicas ¿Cuál es la relación entre los cloroplastos y las mitocondrias?

---

---

---

5. ¿Qué pasaría si la relación entre cloroplastos y mitocondrias se viera afectada?

---

---

---

Dibuja el esquema de una mitocondria y de un cloroplasto, señalando sus diferencias.



## ESTRATEGIA DIDÁCTICA 6

Meiosis y gametogénesis. *Meiosis en algas: del gametofito al esporofito.*



### I. DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología I
SEMESTRE ESCOLAR	Tercer Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

### II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 3. ¿Cómo se transmiten los caracteres hereditarios y se modifica la información genética?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo:</b> Al finalizar, el alumno: Identificará los mecanismos de transmisión y modificación de la información genética, como responsables de la continuidad y cambio en los sistemas biológicos, para que comprenda su importancia biológica y evolutiva.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos:</b> Explica la meiosis como un proceso que antecede a la reproducción sexual y produce células genéticamente diferentes. <b>Aprendizajes operativos:</b> 1. Reconoce los pasos que conllevan el proceso de meiosis. 2. Identifica a la meiosis como proceso que antecede la reproducción sexual. 3. Describe el proceso genético de la meiosis. 4. Destaca la meiosis en algas en el paso de gametofito a esporofito.
TEMA(S)	Tema 1. Reproducción. ● Meiosis y gametogénesis.

### III. ESTRATEGIA

Las actividades de esta estrategia están destinadas al reconocimiento del proceso de meiosis como parte de la reproducción sexual (espermatogénesis y ovogénesis), por medio de actividades como la investigación previa por parte de los estudiantes, la observación de videos del proceso celular, el contraste de esquemas comparativos, una actividad de laboratorio y la ejemplificación en el ejemplo

del ciclo de vida de algunas algas destacando el paso de gametofito a esporofito.

#### IV. SECUENCIA

<b>TIEMPO DIDÁCTICO</b>	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
<b>DESARROLLO Y ACTIVIDADES</b>	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)</p> <p>Los estudiantes investigarán sobre los procesos de meiosis en los gametos femenino y masculino (ovogénesis y espermatogénesis), registrarán sus hallazgos en sus cuadernos, ejemplificando con imágenes su información.</p> <p>De apertura (1 hora)</p> <p>En clase el profesor proyectará los videos del anexo 1: Video Meiosis [3D Animation] y video Meiosis UNAM-DGTIC, para que los estudiantes complementen la información que hallaron previamente. Se dará paso a los comentarios y dudas sobre las fases de la meiosis.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Con la información ya trabajada, los estudiantes realizarán por equipos (de cuatro personas aproximadamente) dos esquemas comparativos en un papel bond, el primero entre los pasos de la mitosis (tema visto previamente) y la meiosis; el segundo esquema debe reflejar el contraste entre la ovogénesis y espermatogénesis. Una vez elaborados los esquemas, cada equipo compartirá con una explicación al resto del grupo su trabajo y observará los resultados de los otros equipos. El profesor debe estar al tanto en todo momento por cualquier duda y como guía de la actividad. Al finalizar el profesor proyectará los esquemas del anexo 2: Esquema general: fases de división celular y gametogénesis, para complementar la información.</p> <p>(2 horas)</p> <p>Se llevará a cabo la actividad de laboratorio de acuerdo al anexo 3. Actividad de laboratorio: fases mitóticas en meristemos de cebolla, para observar las diferentes fases de división celular y relacionarlas con la meiosis y gametogénesis.</p> <p><b>Actividades de cierre:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Los estudiantes se organizarán en cinco equipos para que cada uno pueda trabajar con un ejemplo de la lectura del anexo 4. Lecturas: Variantes de reproducción y ciclos de vida de las algas, y reconozcan que existen diferentes estructuras en la reproducción de organismos algales como los esporofitos, lo</p>

	<p>cual no suceden en los tipos de gametogénesis vistos hasta ahora en su curso. Después de la lectura se abrirá un espacio de opinión y retroalimentación por medio de participaciones de los estudiantes. El profesor proyectará la imagen representativa de los ejemplos indicados en la lectura, como apoyo para la explicación de cada caso.</p>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b>	<p>Recursos bibliográficos o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Aula-laboratorio de trabajo. Pizarrón y gises de colores o pintarrón y marcadores. Papel bond y marcadores de colores. Computadora y proyector.</p> <p>Anexo 1. Videos: Meiosis [3D Animation] y Meiosis UNAM-DGTIC.</p> <p>Anexo 2. Esquema general: Fases de división celular y gametogénesis.</p> <p>Anexo 3. Actividad de laboratorio: Fases mitóticas en meristemos de cebolla.</p> <p>Anexo 4. Lecturas: Variantes de reproducción y ciclos de vida de las algas I y II.</p>
<b>EVALUACIÓN</b>	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se juntaran puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b></p> <p>Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto</p> <p>Actividad de inicio (apertura): observación de videos (grupal) y complemento de la información previa (individual).....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b></p> <p>Primera actividad de desarrollo: esquemas comparativos por equipo.....2 puntos</p> <p>Segunda actividad de desarrollo: práctica de laboratorio por equipo.....3 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b></p> <p>Actividad de cierre: análisis de ejemplos en algas.....3 puntos</p> <p>La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.</p>

## V. REFERENCIAS DE APOYO

<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.</b>	<p>UNAM-DGTIC. (2019). Videos de Meiosis (Profase temprana I, Profase tardía prometafase I, Metafase I, Anafase I y Telofase I) Apoyo Académico para la educación media superior. Recuperado en julio, 2019 de:</p> <p><a href="http://www.objetos.unam.mx/biologia/reproduccionCelular/index.html">http://www.objetos.unam.mx/biologia/reproduccionCelular/index.html</a></p>
---	--



	<p>McGraw-Hill Animations. (2017). Video Meiosis [3D Animation], Publicado el 4 jun. 2017. Recuperado en julio, 2019 de: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=c5hA0WCv1lg">https://www.youtube.com/watch?v=c5hA0WCv1lg</a></p> <p>UNAM-DGTIC. (2019). Fases de división celular y gametogénesis. Recuperado en julio, 2019 de: <a href="http://www.objetos.unam.mx/biologia/reproduccionCelular/index.html">http://www.objetos.unam.mx/biologia/reproduccionCelular/index.html</a></p>
<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR</b>	<p>Lee, R. E. (2008). <i>Phycology</i>. United States of America by Cambridge University Press, New York.</p> <p>Murray, W. N. (2005). Algas. En <i>Introducción a la botánica</i>. Pearson.</p>
<b>COMENTARIOS ADICIONALES</b>	<p>Es responsabilidad del docente conocer la bibliografía recomendada para los estudiantes.</p>

## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Videos: Meiosis [3D Animation] y Meiosis UNAM-DGTIC.

**Anexo 2.** Esquema general: Fases de división celular y gametogénesis.

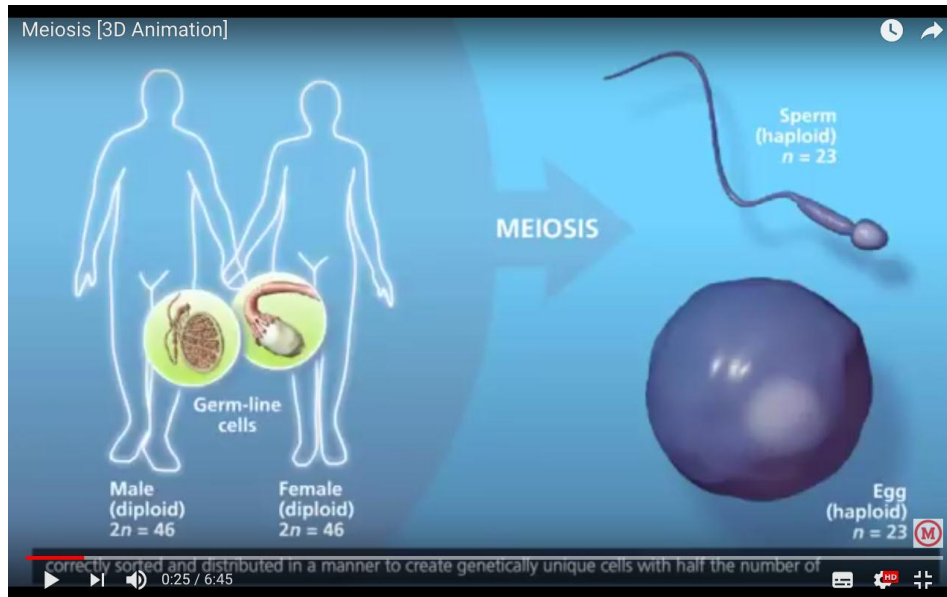
**Anexo 3.** Actividad de laboratorio: Fases mitóticas en meristemos de cebolla.

**Anexo 4.** Lecturas: Variantes de reproducción y ciclos de vida de las algas I y II.

Anexo 1. Videos: Meiosis [3D Animation] y Meiosis UNAM-DGTIC.

## Video meiosis <sup>1</sup>

McGraw-Hills Animations (2017)



## Video meiosis <sup>2</sup>

UNAM-DGTIC (2019)

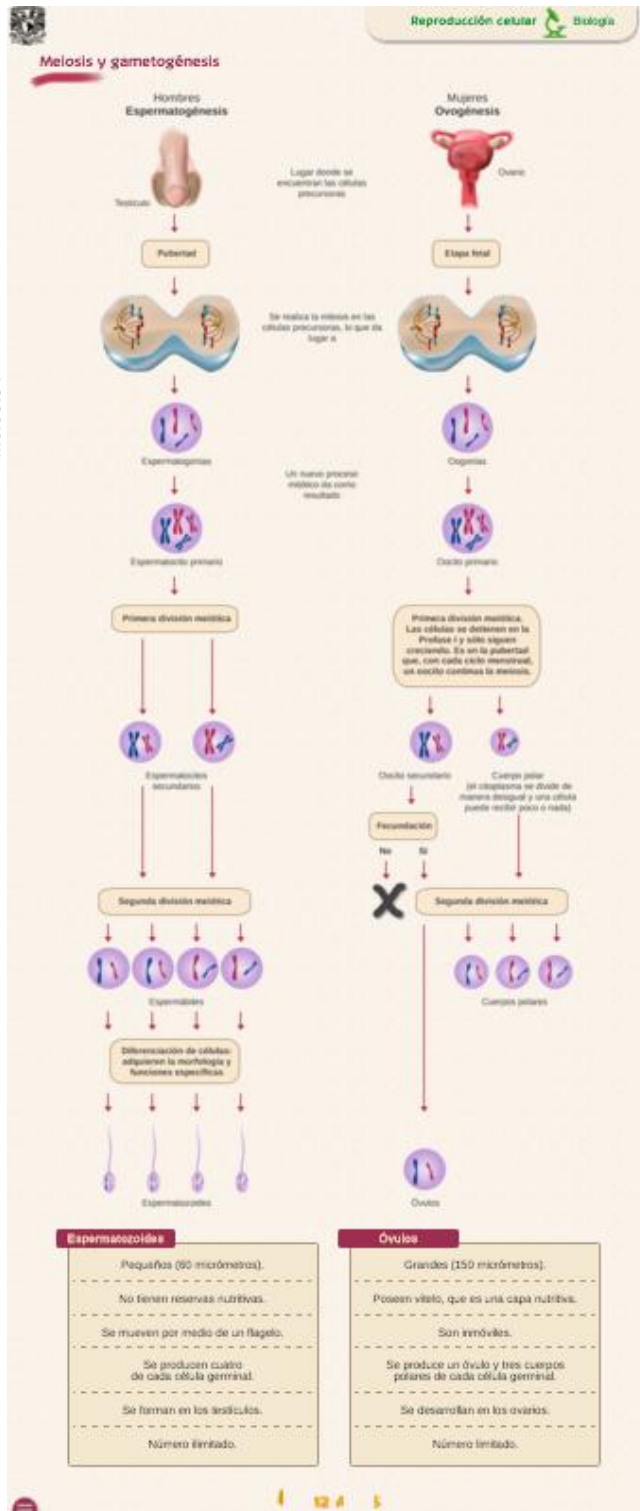
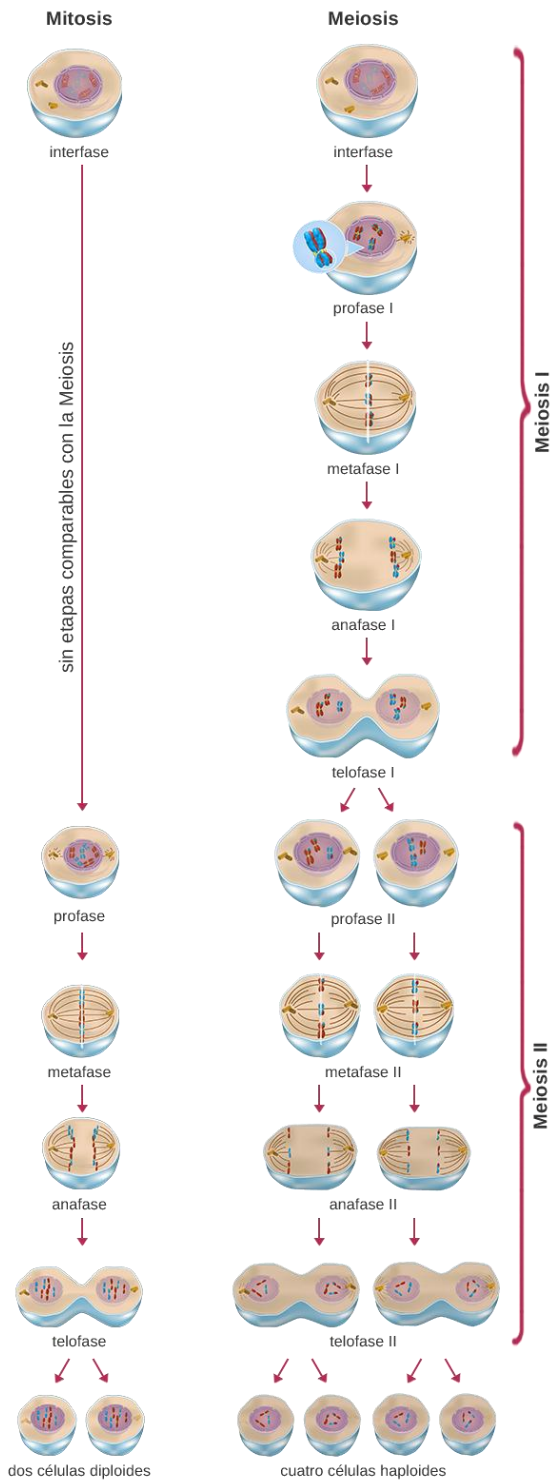
(Profase temprana I, Profase tardía prometafase I, Metafase I, Anafase I y Telofase I)



<sup>1</sup> McGraw-Hill Animations. (2017). Video Meiosis [3D Animation], Publicado el 4 jun. 2017. Recuperado en julio, 2019 de: <https://www.youtube.com/watch?v=c5hA0WCv1lg>

<sup>2</sup> UNAM-DGTIC. (2019). Videos de Meiosis (Profase temprana I, Profase tardía prometafase I, Metafase I, Anafase I y Telofase I) Apoyo Académico para la educación media superior. Recuperado en julio, 2019 de: <http://www.objetos.unam.mx/biologia/reproduccionCelular/index.html>

**Anexo 2.** Esquema general: Fases de división celular y gametogénesis.<sup>3</sup>



<sup>3</sup> UNAM-DGTIC. (2019). Fases de división celular y gametogénesis. Recuperado en julio, 2019 de: <http://www.objetos.unam.mx/biologia/reproduccionCelular/index.html>

**Anexo 3.** Actividad de laboratorio: Fases mitóticas en meristemos de cebolla.

## Fases mitóticas en meristemos de cebolla

Adaptación propia

**Objetivo:** Observar las diferentes fases de división celular.

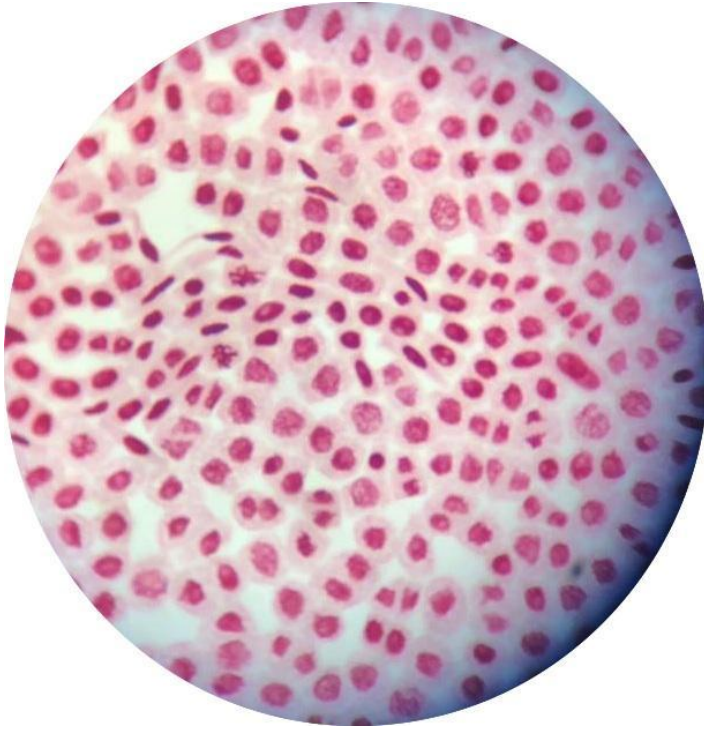


Imagen propia: Fases mitóticas en meristemos de cebolla.

### Materiales por equipo:

- 4 Portaobjetos
- 4 Cubreobjetos
- 1 Microscopio óptico
- 1 Cronómetro
- 1 Tubo de ensayo
- 1 Pinzas para sujetar tubos de ensayo
- 1 Rejilla
- 1 Caja de Petrick de vidrio

### Proporcionado por el profesor:

- Calentadora eléctrica
- Matraz de 500ml
- Termómetro
- 2 Pipetas de bulbo (profesor)

### Sustancias:

- 100ml Ácido clorhídrico al 1N
- Aceite de inmersión
- Acetorceína
- Agua

### Desarrollo

Corte las raíces del bulbo de la cebolla de 3 a 5 mm desde las puntas. Coloque en la caja de Petri 5 mililitros de ácido clorhídrico al 1N y déjelas por 30 minutos (con la finalidad de fijar las fases de división celular que estén llevándose a cabo en el tejido meristemático). Coloque un mililitro de acetorceína en un tubo de ensayo y agregue las raíces, llevalas a baño maría durante 20 minutos a una temperatura de 50 grados centígrados.

Descarte el colorante y extraiga las raíces. Coloque dos a cinco raíces sobre un portaobjetos que tenga una gota de acetorceína. Coloque otro portaobjetos en cruz y oprima con el dedo pulgar las raíces hasta que queden bien esparcidas. Separe las láminas, agregue una gota de acetorceína a la lámina donde se observe mayor distribución de la preparación y coloque un cubreobjetos. Enfoque con objetivos de menor aumento hasta el objetivo 100x con aceite de inmersión.

### Resultados

Tomar evidencia fotográfica de las diferentes fases de división celular a diferentes objetivos y realizar un reporte escrito donde se contrasten las fases mitóticas con las meióticas.

## Variantes de reproducción y ciclos de vida de las algas I

### Reproducción sexual y asexual en Clorofita <sup>4</sup>

Lee (2008)

#### Reproducción asexual

Hay varios tipos de reproducción asexual, la más simple es la fragmentación de colonias en dos o más partes, y cada parte se convierte en una nueva colonia. La zoosporogénesis ocurre comúnmente, generalmente inducida por un cambio en el ambiente del alga. En la Chlorophyta, las zoosporas normalmente se producen en células vegetativas (por ejemplo, *Ulothrix*, y solo en algunos casos se forman en esporangios especializados (por ejemplo, *Derbesia*). Las zoosporas se forman usualmente en las partes más jóvenes de los filamentos, y el número de zoosporas es generalmente una potencia de dos en géneros uninucleados. Las aplanosporas no están flageladas y tienen una pared distinta de la pared celular original (por ejemplo, *Trebouxia*). Las aplanosporas se consideran zoosporas abortivas y tienen la capacidad de formar una nueva planta en la germinación. Las autoesporas son aplanosporas que tienen la misma forma que la célula madre y son comunes en las *Chlorella*. Las autoesporas generalmente se forman en un múltiplo de dos en la célula madre. Las coenobias son colonias con un número definido de células dispuestas de una manera específica (por ejemplo, *Volvox*). Los géneros con colonias dispuestas en coenobia forman colonias hijas con un cierto número de células. En la maduración de la coenobia hija, hay agrandamiento, pero no hay división de las células vegetativas en la coenobia.

#### Reproducción sexual

La reproducción sexual en las Chlorophyceae puede ser isógama, anisógama u oogámica, con la línea general de evolución en la misma dirección. Por lo general, los gametos son células especializadas y no células vegetativas, aunque en los volvocales unicelulares puede ocurrir esto último. Si la especie es isógama o anisógama, los gametos generalmente no se forman en células especializadas, aunque en las especies oogamas, los gametos se forman normalmente en gametangia especializados (por ejemplo, *Coleochaete*, Fig. 5.25). Mientras que la mayoría de los clorofitas forman gametos flagelados (zoogametes), en los zygnetatales se forman los aplanogametes o gametos amoeboides.

En algunos de los Chlorophyta, la gametogénesis es inducida por cambios ambientales, mientras que en otros es necesaria la presencia de dos cepas sexualmente diferentes. En este último, las células vegetativas de un sexo secretan una sustancia que inicia la diferenciación sexual en células competentes del sexo opuesto. Tal situación es común en los Volvocales (Starr, 1972; Kirk y Kirk, 1986) y se analiza con más detalle más adelante. En *Oedogonium*, los órganos sexuales se forman sin la cepa complementaria, pero la fertilización subsiguiente está bajo un complejo control hormonal. En otros géneros, a veces el huevo produce una sustancia quimiotáctica que atrae a los espermatozoides. Esto generalmente no ocurre en las especies isógamas. En las especies isógamas, los gametos sexualmente diferentes se encuentran al azar y se adhieren inmediatamente mediante una reacción de aglutinación. La adherencia flagrante aglutinante entre gametos de diferente sexo se denomina reacción de apareamiento. Inicialmente después de mezclarse, los gametos de sexos opuestos se adhieren por sus puntas de flagelos en grupos de hasta 25 gametos. Pronto los extremos anteriores de los gametos complementarios se fusionan, y los flagelos se liberan. El cigoto móvil luego nada por un tiempo antes de asentarse y segregar una pared gruesa.

---

<sup>4</sup> Lee, R. E. (2008). *Phycology*. United States of America by Cambridge University Press, New York. 10-22.

Las sustancias de tipo de apareamiento (responsables de la aglutinación flagelar) están localizadas y funcionan en las puntas de los flagelos. Es posible aislar las sustancias de tipo de apareamiento que aún tienen la capacidad de interactuar con los gametos del sexo opuesto. Cuando se agregan al tipo de gameto opuesto, causan isoaglutinación (los gametos masculinos se agruparán entre sí cuando se agregue a la cultura una sustancia de apareamiento femenina). Las sustancias de tipo de apareamiento se discuten con más detalle para *Chlamydomonas*, que se ha estudiado más intensamente.

Poco después de la fusión de los gametos (syngamy), se sabe que la meiosis se produce en los cigotos de pared gruesa de los volvocales, los ulotrichales, los edemoniales, las clorellales y los cignematales. (Lee, 2008:143-144).

## Heterokontophyta

### XANTHOPHYCEAE

## Ejemplo 1

### Reproducción asexual

Los organismos xantófilos se multiplican asexualmente por fragmentación, zoosporas y aplanosporas. Además, tienen la capacidad de formar esporas especializadas en reposo. La fragmentación se limita a las colonias de tetrasporina y filamentosas, y se debe a la ruptura de la colonia en partes.

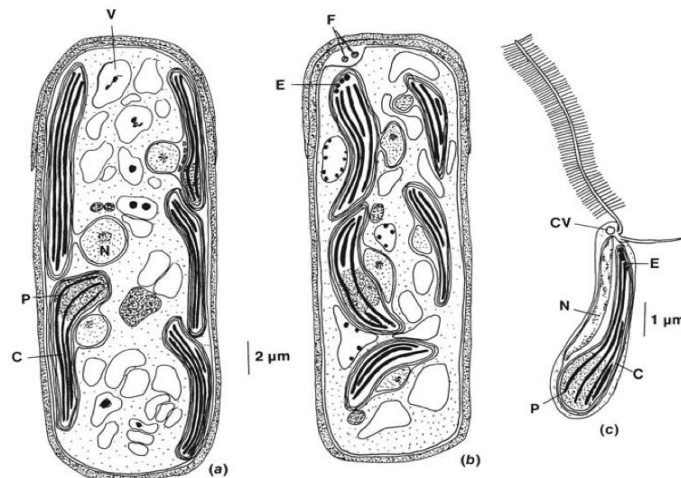


Figura 1. *Pseudobumilleriopsis pyrenoidosa*. (a) Célula vegetativa. (b) Células sometidas a zoosporogénesis. (c) Zoosporas. (C) cloroplasto; (CV) vacuola contráctil; (E) mancha ocular; (F) flagelos; (N) núcleo; (P) pirenoide; (V) Vacuola. (Adaptado de Deason, 1971.)

Las zoosporas están formadas por la mayoría de los géneros. Las zoosporas son biflageladas, y el flagelo del oropel delantero suele ser de cuatro a seis veces más largo que el flagelo del latigazo más corto (Fig. 1). Las zoosporas son desnudas y generalmente piriformes (en forma de pera). La producción de zoosporas se ha estudiado a nivel estructural fino en *Pseudobumilleriopsis pyrenoidosa* por Deason (1971) (Fig. 1). Este alga tiene células en forma de bastón con varios núcleos y cloroplastos laminados. Las células vegetativas antes de la zoosporogénesis tienen los núcleos y las vacuolas en el centro de la célula, mientras que los cloroplastos se aplanan contra el plasma de plasma. La primera indicación de escisión en la zoosporogénesis es la aparición de vacuolas entre los extremos de los cloroplastos adyacentes. Los cloroplastos se alejan del plasmalema y cada uno se asocia con un núcleo. Luego, las vacuolas se unen y separan los pares núcleo-cloroplasto, cada uno de los cuales se convierte en una zoospora. Los cuerpos basales están presentes cerca de los núcleos de las células vegetativas; los cuerpos basales migran hacia un extremo del cloroplasto cuando comienza la escisión y producen flagelos al principio de la zoosporogénesis. Se producen de una a 16 zoosporas, que se liberan por

disolución y / o separación de las paredes esporangiales donde se superponen. En la zoospora, el cloroplasto es masivo y tiene un pirenoide. El núcleo es alargado y hay dos o más vacuolas contráctiles presentes. En lugar de producir zoosporas, todo el protoplasto puede producir una sola aplanospora o dividirse en varias partes, cada una de las cuales se convierte en una aplanospora. En algunos casos, las condiciones ambientales determinan si el alga se reproduce por zoosporas o aplanosporas. Los talos sumergidos de *Botrydium* producen zoosporas; los que viven en suelos húmedos producen aplanosporas (Rostafin'ski y Woronin, 1877) (Fig. 2). Una aplanospora liberada de una célula madre puede crecer directamente en una nueva planta, o puede dar lugar a zoosporas, que se convierten en nuevas plantas.

Algunos flagelados y células rizopodiales producen quistes o estatosporas endógenamente, similares a las de las crisófilas. En su formación, hay una delimitación interna de un protoplasto esférico que se separa de la porción periférica del protoplasto de la célula madre por una membrana. El protoplasto endógenamente diferenciado luego secreta una pared con dos mitades superpuestas. Las células vegetativas también pueden cambiar directamente a las etapas de reposo similares a las esporas, con paredes mucho más gruesas y reservas de alimentos más abundantes que las células vegetativas. Estas células de tipo espora, en las que la pared de la espora no es distinta de la pared original, se denominan acinetes y generalmente se encuentran en géneros filamentosos.

#### Reproducción sexual

Hay pocos informes confiables de reproducción sexual en las Xantofilas. La reproducción sexual solo se ha establecido en tres géneros: *Botrydium* (Fig. 2), *Tribonema* y *Vaucheria*. En los dos primeros géneros, ambos gametos están flagelados, mientras que en *Vaucheria* la reproducción es oogámica.

Cuatro serán considerados aquí: Mischococcales: pequeñas células coccoides. Tribonematales: organismos filamentosos, no cenocíticos. Botrydiales: talo multinucleado globoso con rizoides incoloros. Vaucheriales: coenocito filamentososo.

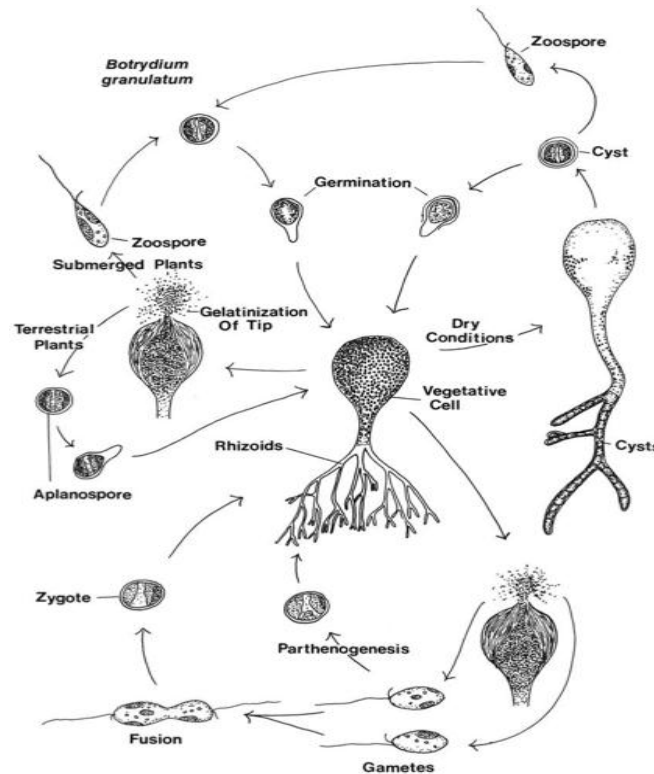


Figura 2. El ciclo de vida de *Botrydium granulatum*. (Adaptado de Rostafin'ski y Woronin, 1877; Kolkwitz, 1926; Rosenberg, 1930.)

**Botrydiales**

*Botrydium* es un alga multinucleada unicelular que consiste en una porción aérea generalmente globosa con cloroplastos y una porción rizoidal incolora que penetra en el suelo (Fig. 2). La forma de la parte aérea está influenciada por las condiciones ambientales. Por lo general, es alargado cuando crece en hábitats sombreados y esférico cuando crece en lugares iluminados (Moore y Carter, 1926). La parte aérea tiene una pared relativamente dura dentro de la cual se encuentra una delicada capa de citoplasma que contiene muchos núcleos y cloroplastos. El sistema rizoideo ramificado no tiene cloroplastos pero tiene muchos núcleos. Las células son incapaces de división vegetativa, y el único método por el cual se pueden formar nuevas plantas es por producción de zoosporas o aplanosporas. Según Rakován y Fridvalsky (1970), la formación de aplanosporas o zoosporas comienza por la noche y las células deben iluminarse de 8 a 9 horas después del inicio del proceso para que se desarrollen los flagelos. Si no hay iluminación, se desarrollan aplanosporas. En la formación de estas esporas, de tres a cinco cloroplastos se asocian con un núcleo en la célula madre, y la escisión se produce con cada zoospora que contiene las organelas anteriores. Si la espora es una aplanospora, entonces se secreta una pared; Si es una zoospora, no se forma pared. Aparentemente, los gametos móviles se forman de manera similar (Iyengar, 1925; Miller, 1927), y la reproducción sexual puede ser isógama o anisógama, y las células son homotáticas o heterotáticas. Los gametos se unen por sus extremos anteriores cuando se unen en pares para formar un cigoto. Los gametos que no se han fusionado se desarrollan partenogenéticamente en thalli. Un cigoto en germinación se desarrolla directamente en un nuevo talo vegetativo.

*Botrydium* también produce quistes o esporas en reposo durante períodos de condiciones secas (Miller, 1927). En *B. granulatum*, el protoplasto migra a los rinocoides donde se produce la división para producir una gran cantidad de quistes de pared gruesa. Estos quistes pueden germinar directamente para formar un nuevo talo o dar lugar a zoosporas.

## **Variantes de reproducción y ciclos de vida de las algas II <sup>5</sup>**

Murray (2005)

Tres filos (Phaeophyta, Chlorophyta y Rhodophyta) comprenden las algas pluricelulares de diferenciación celular compleja y cierto nivel de organización de tejidos. Mientras que Chlorophyta incluye también a muchas especies unicelulares, Phaeophyta y Rhodophyta son casi exclusivamente pluricelulares. Las formas pluricelulares marinas son las algas marinas superiores. La reproducción sexual es común en estos tres filos, y muchas especies presentan complejos ciclos vitales con alternancia de generaciones. En tales ciclos vitales, se alternan entre sí dos formas pluricelulares: una forma diploide y productora de esporas, denominada esporofito, y una forma haploide y productora de gametos, denominada gametofito.

### **Las algas rojas filo RHODOPHYTA**

### **Ejemplo 3**

Presentan complejos ciclos de vida con tres fases pluricelulares

Las algas rojas son quizás más conocidas por la complejidad de sus ciclos vitales. La mayoría poseen tres fases pluricelulares: un gametofito haploide y dos esporofitos diploides. Una de las fases de esporofito, conocida como *tetrasporofito*, produce esporas, denominadas *tetrasporas*, mediante meiosis. Las tetrasporas germinan y se convierten en gametofitos masculinos o femeninos. Los gametofitos masculinos liberan gametos no

<sup>5</sup> Murray, W. N. (2005). Algas. En *Introducción a la botánica*. Pearson.



flagelados, denominados *espermacios*, que son transportados por las corrientes de agua hasta los huevos de los gametofitos femeninos (las algas rojas son las únicas que no poseen células flageladas durante ninguna etapa de su ciclo vital). Tras la fertilización, el cigoto se divide repetidamente mediante mitosis, produciendo la segunda fase del esporofito, el *carposporofito*, que permanece adherido al gametofito femenino. El carposporofito libera esporas denominadas *carposporas*, que se desarrollan para formar nuevos tetrasporofitos (Fig. 3).

Nadie conoce a ciencia cierta el origen evolutivo o la ventaja adaptativa de semejante ciclo vital. Una teoría especula que, como la carencia de gametos flagelados hace que la fecundación sea más improbable, existe una ventaja al tener un ciclo vital que maximiza la fecundación cuando esta se produce. De acuerdo con esta perspectiva, el carposporofito representa una etapa de amplificación, con el potencial de producir numerosos tetrasporofitos de cada cigoto.

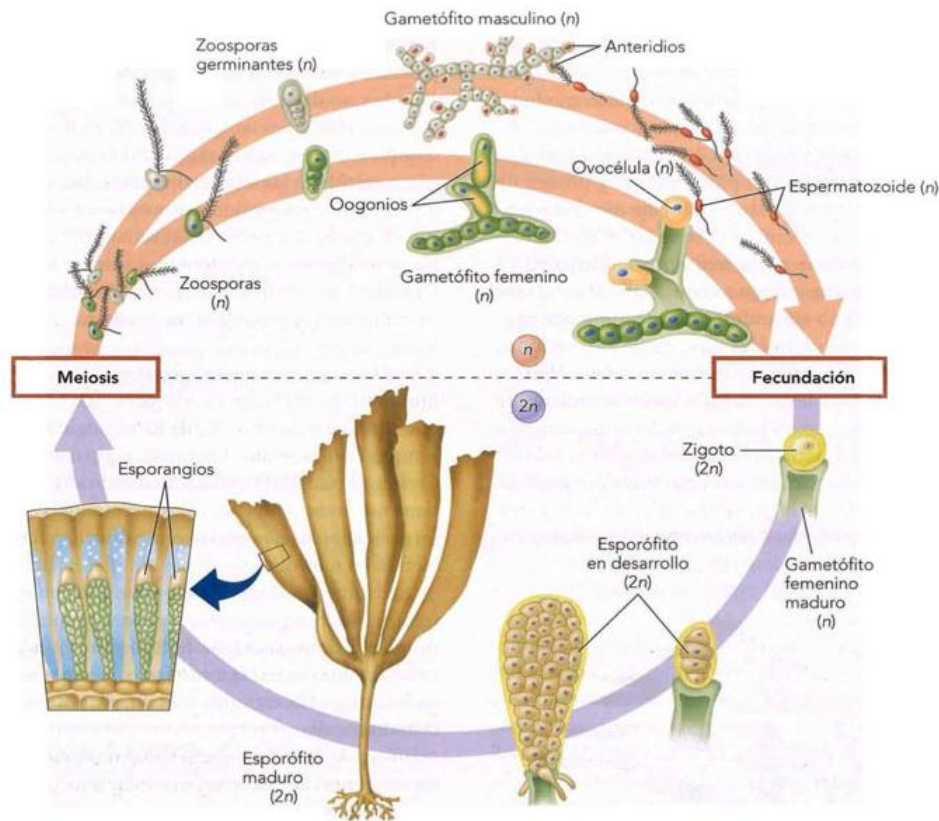


Figura 3. Los esporangios en los filoides del gran esporofito producen zoosporas, que se convierten en gametofitos masculinos y femeninos microscópicos. Los anteridios en los gametofitos masculinos liberan espermatozoides, los cuales fecundan las ovocélulas de los oogonios de los gametofitos femeninos. Los cigotos resultantes se convierten en nuevos esporofitos.

*Chlamydomonas* puede reproducirse sexual o asexualmente (Fig. 4). Ambos métodos comienzan cuando una célula haploide madura se divide dos o más veces mediante mitosis, produciendo hasta 16 células hijas, que desarrollan flagelos antes de romper la pared celular de la célula madre. En la reproducción asexual, las células hijas son zoosporas y dan lugar directamente a células maduras haploides. En la reproducción sexual, las células hijas son gametos. Cada célula madura y todos los gametos que produce son de un *tipo de unión* que se designa como + o -. Los términos *masculino* y *femenino* no son aplicables a *Chlamydomonas*, porque los gametos + y - son idénticos en apariencia. Dichos gametos se conocen como **isogametos**, en lugar de espermatozoides u ovocélulas. La fusión de un gameto + con uno - produce la formación de un cigoto, que secreta una gruesa pared. El cigoto con pared se conoce como *zigospora*. En el interior de la pared, el cigoto produce cuatro células haploides flageladas (dos de cada tipo de unión) mediante meiosis. Entonces, las células rompen la pared y se convierten en células maduras.

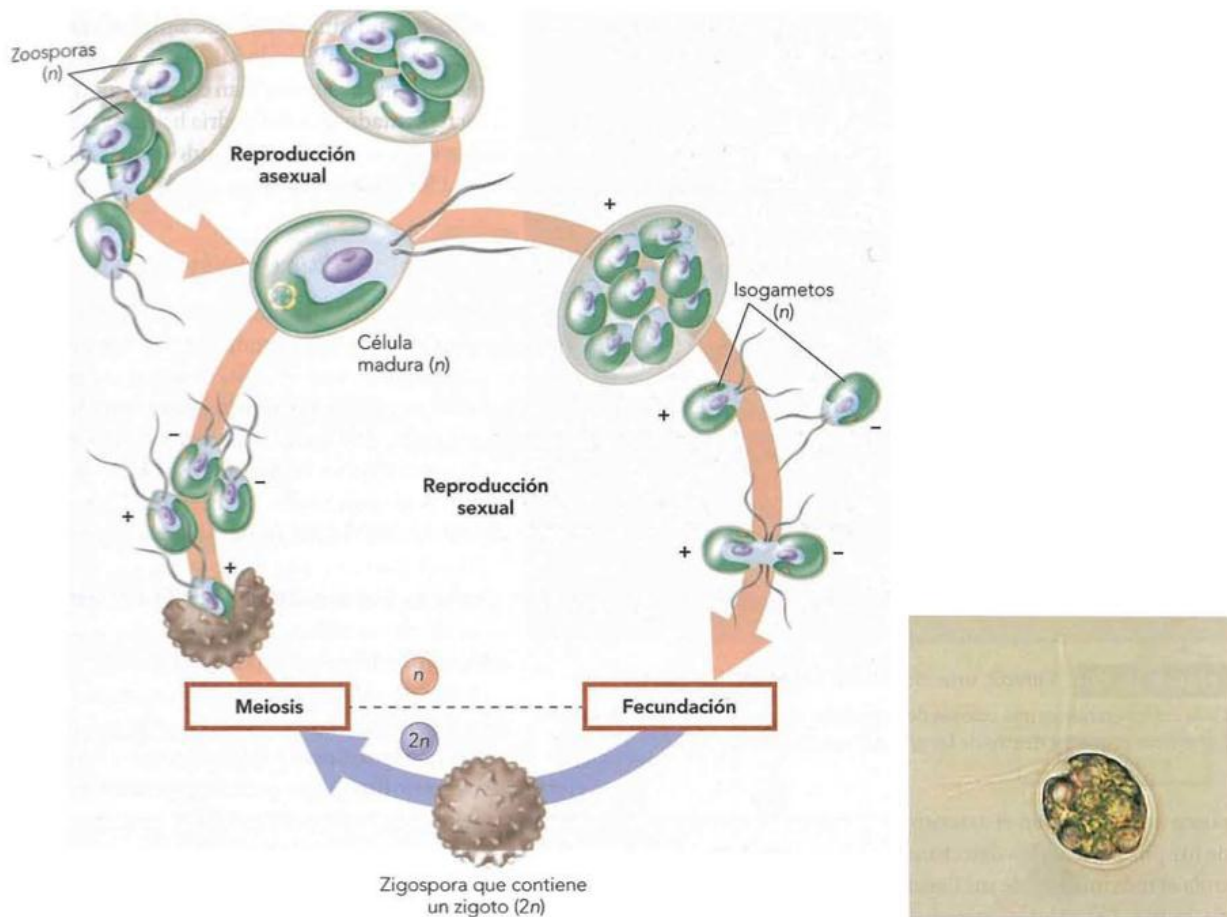


Figura 4. Ciclo vital de *Chlamydomonas*, una clorofícea unicelular.

Una célula madura se divide mediante mitosis para producir hasta 16 células hijas flageladas. En la reproducción asexual, las células hijas (zoosporas) se convierten directamente en células maduras. En la reproducción sexual, las células hijas son isogametos de un tipo de unión (en este caso, +). La fertilización en la que participan dos isogametos de un tipo de unión opuesto produce un cigoto, el cual da origen a cuatro células haploides mediante meiosis, cada una de las cuales puede convertirse en una célula madura.

Ulva, o lechuga de mar (Fig. 5), es una ulvofícea marina común. Puede encontrarse adherida a rocas en piscinas naturales y en áreas expuestas cuando la marea está baja. El ciclo vital de *Ulva* comprende una alternancia de generaciones **isomorfa**. Esto es, el gametofito y el esporofito parecen casi idénticos. Ambos son de **un** verde brillante, y los talos planos parecen una hoja arrugada y fina de lechuga. Los gametófitos de *Ulva*, al igual que las células marinas de *Chlamydomonas*, se designan con un + 0 - porque producen isogametos de similar apariencia, cada uno de los cuales posee dos flagelos. Los cigotos formados por la fusión de isogametos + y - se convierten en esporófitos, que producen zoosporas con cuatro flagelos. Las zoosporas entonces germinan para formar gametófitos. Los isogametos y las zoosporas son liberados cuando las aguas de una marea mojan por primera vez el talo. Los isogametos nadan hacia la luz, mientras que las zoosporas nadan en sentido contrario a la luz.

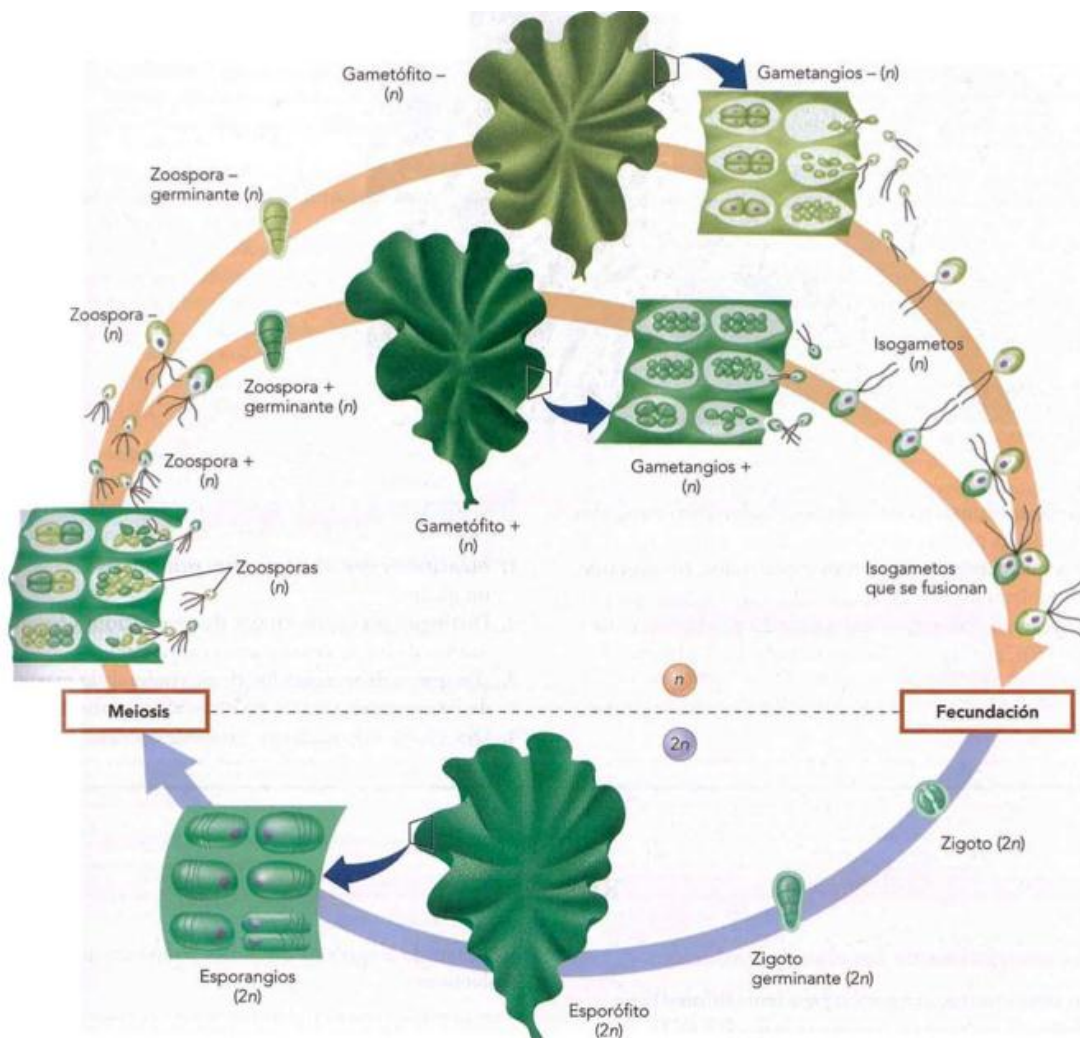


Figura 5. Ciclo vital de *Ulva*, una ulvofícea.

Los esporangios en el esporofito producen zoosporas que germinan para formar gametofitos + y -. Los gametofitos y los esporofitos son muy similares en cuanto a tamaño y apariencia. Los gametangios de los gametofitos liberan isogametos + y -, que se fusionan. Los cigotos resultantes se convierten en esporofitos nuevos.



## Estrategias para la asignatura de Biología II



### ESTRATEGIA DIDÁCTICA 7

Teoría de endosimbiosis. *El papel de las algas en la endosimbiosis.*

#### I. DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología II
SEMESTRE ESCOLAR	Cuarto Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

#### II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 1. ¿Cómo se explica el origen, evolución y diversidad de los sistemas biológicos?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo:</b> Al finalizar, el alumno: Identificará los procesos que han favorecido la diversificación de los sistemas biológicos a través del análisis de las teorías que explican su origen y evolución para que comprenda que la biodiversidad es el resultado del proceso evolutivo.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos:</b> Reconoce la endosimbiosis como explicación del origen de las células eucariotas. <b>Aprendizajes operativos:</b> 1. Define “endosimbiosis”. 2. Explica el origen de las células eucariotas a través de la endosimbiosis. 3. Resalta el origen de los cloroplastos vinculado a la importancia de las algas en la endosimbiosis.
TEMA(S)	Tema 1. Origen de los sistemas biológicos <ul style="list-style-type: none"><li>• Teoría de endosimbiosis</li></ul>

#### III. ESTRATEGIA

Con las actividades de la presente estrategia los estudiantes podrán reconocer la endosimbiosis como la explicación del origen de las células eucariotas y resaltar el papel de las cianobacterias en el

proceso de origen de los cloroplastos. Para lograr el objetivo se proponen actividades de investigación previa, análisis de lecturas, actividad de laboratorio y como cierre elaborar una historieta de los eventos endosimbióticos que dieron lugar a las células eucariotas.

#### IV. SECUENCIA

TIEMPO DIDÁCTICO	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
DESARROLLO Y ACTIVIDADES	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)</p> <p>Los estudiantes investigarán las bases de la teoría endosimbiótica como proceso que originó las células eucariotas. Se recomienda elaborar un esquema representativo. La información será registrada en sus cuadernos.</p> <p>De apertura (1 hora)</p> <p>En clase los estudiantes compartirán sus hallazgos mediante una lluvia de palabras que consideren clave en este tema. El profesor anotará las palabras en el pizarrón y al finalizar las participaciones, realizarán un glosario en equipos de cuatro personas. Por último, compartirán sus resultados de manera oral ante el grupo.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Los estudiantes se dividirán en dos grandes equipos, para trabajar con el anexo 1. Lectura: Endosimbiosis, y el anexo 2. Lectura: Teoría endosimbiótica. Después de leer los textos, cada equipo trabajará en una mitad de pizarrón para elaborar un mapa mental de los datos más relevantes de su lectura. Al finalizar elegirán a uno de los integrantes de cada equipo para que lo explique al resto del grupo. El profesor guiará las participaciones y comentarios, aclarando dudas que surjan.</p> <p>(2 horas)</p> <p>Los estudiantes se organizan por equipos de cuatro personas para llevar a cabo la actividad de laboratorio: Observación de cloroplastos en algas verdes - Chlorophyta (anexo 3), para reforzar la teoría vista sobre el tema. El profesor puede explicar la existencia de hipótesis de endosimbiosis seriadas en algas apoyado en el esquema del anexo 4.</p> <p><b>Actividades de cierre:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Para integrar los conocimientos adquiridos del tema, los estudiantes elaborarán una historieta sobre los eventos endosimbióticos que dieron lugar a la célula eucariota. Se recomienda compartir sus resultados con el resto de</p>

	<p>sus compañeros con proyección audiovisual para que todos puedan apreciar su trabajo. Es recomendable que el profesor muestre un ejemplo de los resultados esperados como el anexo 5. Ejemplo de historieta sobre la endosimbiosis.</p>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b>	<p>Recursos bibliográficos o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Aula-laboratorio de trabajo. Pizarrón y gises de colores o pintarrón y marcadores. Lápices de colores. Computadora y proyector audiovisual.</p> <p>Anexo 1. Lectura: Endosimbiosis.</p> <p>Anexo 2. Lectura: Teoría endosimbiótica.</p> <p>Anexo 3. Actividad de laboratorio: Observación de cloroplastos en algas verdes - Chlorophyta.</p> <p>Anexo 4. Esquema: Eventos de endosimbiosis en algunos linajes de algas.</p> <p>Anexo 5. Ejemplo: Historieta sobre la endosimbiosis.</p>
<b>EVALUACIÓN</b>	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se juntaran puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b></p> <p>Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto</p> <p>Actividad de inicio (apertura): glosario en equipo.....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b></p> <p>Primera actividad de desarrollo: mapa mental en equipo.....2 puntos</p> <p>Segunda actividad de desarrollo: actividad de laboratorio en equipo.....3 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b></p> <p>Actividad de cierre: historieta individual.....3 puntos</p> <p>La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.</p>

## V. REFERENCIAS DE APOYO

<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.</b>	<p>Megías, M., Molist, P. y Pombal M. A. (2017). Atlas de histología vegetal y animal. La célula. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo: España. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de:</p>
---	--

	<p><a href="https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/atlas-celula-01-introduccion.pdf">https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/atlas-celula-01-introduccion.pdf</a></p> <p>Angulo, R., Galindo, U., Avendaño P. y Pérez A. (2012). <i>Biología celular</i>. Primera edición. Universidad Autónoma de Sinaloa. Dirección general de escuelas preparatorias: México. p. 35-36. Recuperado el 19 de julio, 2019 de: <a href="http://dgep.uas.uasnet.mx">http://dgep.uas.uasnet.mx</a></p> <p>Selosse, M. A. y Loiseaux-de Goër, S. (1997). <i>Mundo científico</i>, 179, 436-441. Recuperado el 19 de julio, 2019 de: <a href="https://sites.google.com/site/origendelavidaenlatierra/origen-de-los-eucariontes">https://sites.google.com/site/origendelavidaenlatierra/origen-de-los-eucariontes</a></p>
<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR</b>	<p>Keeling P. J. (2013). The Number, Speed, and Impact of Plastid Endosymbioses in Eukaryotic Evolution. <i>Annual Review of Plant Biology</i>, 64, 583-607. Recuperado en Julio 2019, de: <a href="http://www.annualreviews.org">www.annualreviews.org</a></p> <p>Aguiñiga Sanchez. I., Alvarado Domínguez M. C., Ávila Ortiz A. G., Bautista Reyes C., Castillo Chaires I., Díaz Martínez S., Espitia Licea R., Hernández Anaya L., Hernández Muñoz M. A., Jiménez Encarnación M. E., Longares Méndez D. A., Luna Vásquez A., Niño de Rivera Oyarzabal M. del C., Ramos Velázquez J. R., Rivera Martínez A. R., Roldán Reyes E., Saito Quezada V. M., Soriano Martínez A. M., Zapata Cruz A. 2020. Laboratorio de Investigación Formativa II. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad De Estudios Superiores Zaragoza. México. Recuperado el 10 de noviembre, 2020 de: <a href="https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/manuales/ML_LIF_II_2020.pdf">https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/manuales/ML_LIF_II_2020.pdf</a></p>
<b>COMENTARIOS ADICIONALES</b>	<p>Es responsabilidad del docente conocer la bibliografía recomendada para los estudiantes.</p>

## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Lectura: Endosimbiosis.

**Anexo 2.** Lectura: Teoría endosimbiótica.

**Anexo 3.** Actividad de laboratorio: Observación de cloroplastos en algas verdes - Chlorophyta.

**Anexo 4.** Esquema: Eventos de endosimbiosis en algunos linajes de algas.

**Anexo 5.** Ejemplo: Historieta sobre la endosimbiosis.

## Endosimbiosis<sup>1</sup>

Megías et al. (2017)

Se cree que todos los organismos han evolucionado a partir de un tipo celular que apareció hace unos 3500 millones de años denominado LUCA (en inglés, Last Universal Common Ancestor). Esta célula debió ser sencilla, supuestamente semejante a los procariotas actuales. Sin embargo, la complejidad celular aumentó dando lugar a la aparición de las células eucariotas. Las células eucariotas tienen compartimentos membranosos internos como el núcleo y diversos orgánulos como retículo endoplasmático, aparato de Golgi, endosomas, mitocondrias, cloroplastos, etcétera, además del citoesqueleto. Los primeros restos fósiles apuntan a que las células eucariotas estaban ya presentes hace unos 1500 millones de años, pero se cree que aparecieron mucho antes. Hoy en día se acepta que algunos orgánulos celulares de las células eucariotas se originaron por endosimbiosis.

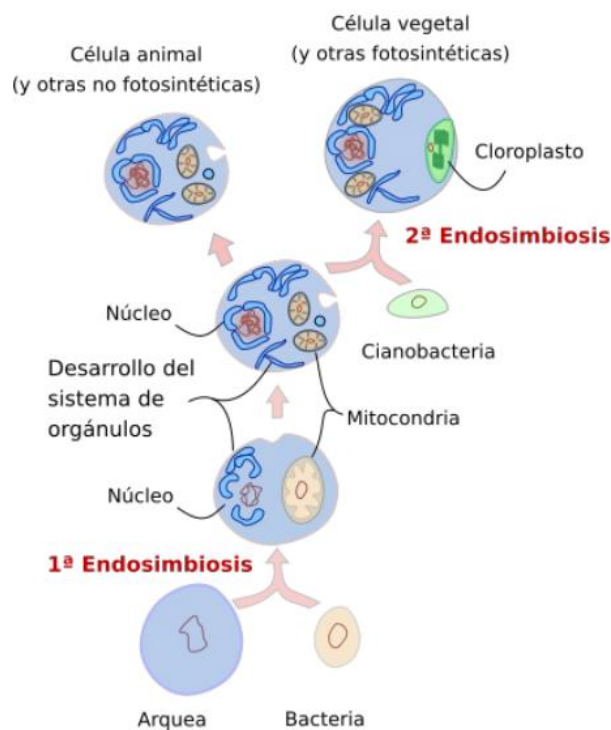


Figura 1. Sucesos que supuestamente llevaron a la aparición de las mitocondrias y a los cloroplastos de las células eucariotas. Ocurrió mediante dos procesos independientes de endosimbiosis. Las células procariotas que se convirtieron en cloroplastos se cree que fueron similares a las cianobacterias actuales.

Mereschokovsky (1905, 1910) fue el primero en proponer que los cloroplastos son los descendientes de una célula procariota incorporada por una protoeucariota. A este proceso le llamó simbiogénesis, que

<sup>1</sup> Megías, M., Molist, P. y Pombal M. A. (2017). Atlas de histología vegetal y animal. La célula. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo: España. Recuperado el 6 de diciembre, 2019 de: <https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/atlas-celula-01-introduccion.pdf>



derivó en el término endosimbiosis. Las mitocondrias y los cloroplastos constituyeron en el pasado formas libres de células primitivas procariotas. Estas células fueron incorporadas por otras células, llegado hasta a nuestros días transformadas en orgánulos celulares. Algunos autores han postulado que los peroxisomas, los cilios y los flagelos también se formaron por procesos de endosimbiosis, aunque hay poco soporte experimental. La teoría de la endosimbiosis se basa en algunas semejanzas entre las bacterias actuales con las mitocondrias y los cloroplastos: ambos orgánulos tienen unas dimensiones parecidas a las bacterias, poseen hebras circulares de DNA en su interior y sus ribosomas son 70S, similares a los de las bacterias. Además, son capaces de replicarse de forma independiente en el interior celular. La doble membrana no implica que una sea del huésped y la otra del hospedador. En el caso de los cloroplastos, lo que ocurrió en realidad, es que se perdió la cubierta de peptidoglicano, pero las dos membranas ya las poseía el huésped. Mitocondrias y cloroplastos fueron inicialmente bacterias libres que se incorporaron o se internaron en otras células mayores (una arquea y una eucariota, respectivamente) y que llegaron a tal grado de dependencia que terminaron por perder su autonomía. Los antepasados de las mitocondrias podrían ser los antepasados de las alfa-proteobacterias actuales y los antepasados de los cloroplastos los antepasados de las cianobacterias actuales. La teoría de la endosimbiosis postula una primera fusión de procariotas. Hoy se favorece la idea de que fue entre una arquea y una bacteria. Esto se produjo probablemente tras un periodo de colaboración metabólica entre ambas células, es decir, hubo una simbiosis (no endosimbiosis todavía) previa a la fusión de las dos células. Posteriormente, tras un largo periodo de convivencia en el que la célula hospedadora desarrolló todo un sistema de orgánulos membranosos y un citoesqueleto, hubo una segunda colonización por parte de procariotas con clorofila, probablemente similares a las cianobacterias actuales, que dieron lugar a los cloroplastos, resultando en las células fotosintéticas como las de los vegetales, que poseen mitocondrias y cloroplastos se "zampó" a otra eucariota que ya contenía cloroplastos y mitocondrias. Con el tiempo la célula incorporada pasó a ser endosimbionte. La célula "ingerida" perdió el núcleo, o se atrofió, y sus cloroplastos pasaron a trabajar para y a depender de la célula eucariota hospedadora. Se conocen hasta ahora tres sucesos independientes de endosimbiosis donde ha ocurrido endosimbiosis secundaria. La endosimbiosis terciaria ocurrió cuando una célula eucariota incorporó a otra eucariota que era resultado de una endosimbiosis secundaria. De todos estos casos hay ejemplos en la naturaleza.

Los cloroplastos y las mitocondrias son muy diferentes a las cianobacterias y a las bacterias aerobias actuales. Por ejemplo, las cianobacterias actuales tienen unos 3000 genes, mientras que los cloroplastos actuales sólo poseen unos 100 o 200 genes. La pérdida de genes hace que los que quedan sólo codifican para un 10 % de sus proteínas. Esto es porque muchos de los genes cloroplastidiales han pasado al núcleo, el cual se encarga de sintetizar muchos de los componentes que el cloroplasto necesita. Esto es un paso bastante complicado porque tales genes tienen que expresarse en un ambiente totalmente diferente y además tienen que dirigir sus productos hacia dianas concretas dentro de la célula.

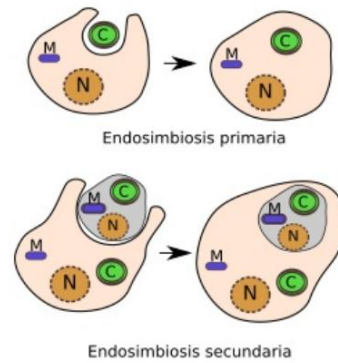


Figura 2. Esquema del proceso de formación de una endosimbiosis primaria y otra secundaria.

La gran ventaja es que el núcleo celular coordina el funcionamiento y división de los cloroplastos. Un fenómeno similar ha ocurrido con las mitocondrias. Hoy en día se conocen muchos ejemplos de bacterias, pero ninguno de arqueas, que se localizan en células eucariotas a modo de simbioses, incluso de bacterias dentro de arqueas, aunque no han llegado al grado de integración que observamos en mitocondrias y cloroplastos. Son diferentes caminos que se han explorado durante la evolución en la cooperación entre distintos tipos celulares. Cualquiera que sea el tipo, los simbioses son capaces de proveer moléculas que el hospedador necesita. Muchos invertebrados tienen bacterias que son intracelulares, llevan a cabo su ciclo de vida y pueden pasar a través de los gametos a su descendencia. Son simbioses obligados que realizan su ciclo en el interior de las células del hospedador y se transmiten a la descendencia. Se han adaptado de tal manera que son inocuas para el hospedador, a veces son beneficiosas y otras necesarias. En realidad son infecciones que no producen daños importantes a los hospedadores, aunque usen la misma maquinaria que las bacterias patógenas para su reproducción. También hay endosimbioses entre eucariotas. Por ejemplo, el paramecio *Bursaria* alberga en su interior una serie de algas del tipo *Chlorella*. Este protozoo busca siempre lugares bien iluminados gracias a su gran movilidad. El alga aprovecha esta alta intensidad de luz para realizar fotosíntesis y de los productos resultantes se aprovecha el paramecio. Existen otros muchos ejemplos. Algunos simbioses se denominan secundarios y no son permanente, producen invasiones horizontales, es decir saltan entre individuos, su ADN no es tan grande como el de las bacterias libres ni tan pequeño como el de otros simbioses más integrados.

#### Bibliografía

Endosimbiosis Dacks JB, Field MC. Evolution of the eukaryotic membrane trafficking system: origin, tempo and mode. 2007. *Journal of cell science*. 120, 2977-2985.

de Duve C. El origen de las células eucariotas. 1996. *Investigación y Ciencia*. Junio:18-26. McFadden GI. Chloroplast origin and integration. 2001. *Plant Physiol*. 125, 50-53.

Poole AM, Penny D. Evaluating hypotheses for the origin of eukaryotes. 2006. *BioEssays*. 29,74-84. Simpson AGB, Roger AJ. Eucaryotic evolution. Getting to the root of the problem. 2002. *Curr Biol*. 12, R691-R693.

**Anexo 2.** Lectura: Teoría endosimbiótica.

## **Teoría endosimbiótica**<sup>2</sup>

Angulo et al. (2012)

Las evidencias sugieren que las células eucariotas evolucionaron a partir de sus ancestros procarióticos. Las células eucarióticas tienen aproximadamente 1,000 veces más volumen y su material genético es más organizado.

La teoría endosimbiótica o de simbigénesis o teoría de endosimbiosis seriada, describe la aparición de células eucarióticas como consecuencia de la sucesiva incorporación simbiogénica de diferentes bacterias de vida libre (procariotas).

Esta teoría fue propuesta por la científica norteamericana Lynn Margulis en diferentes artículos y libros: *On origin of mitosing cells* (1967), *Origins of Eukariotic Cells* (1975) y *Symbiosis in Cell Evolution* (1981), llegando a conocer por el acrónimo inglés SET (Serial Endosymbiosis Theory). En la actualidad, se acepta que las eucariotas surgieron como consecuencia de los procesos simbiogénicos descritos por Margulis.

En 1967, Margulis formuló lo que se conoce como “Teoría de la endosimbiosis seriada” que propone que la primera célula eucariótica de la Tierra, se formó mediante la fusión de tres bacterias preexistentes completas, con los genes de cada una incluidos, por supuesto. Una de las bacterias aportó los microtubulos, otra aportó ciertas capacidades metabólicas, y la tercera, que se sumó más tarde a las otras dos, se convirtió en las actuales mitocondrias. Esa célula eucariota primitiva empezó a reproducirse y una de sus descendientes fagocitó a una bacteria fotosintética de la que provienen los actuales cloroplastos.

A esta teoría se le llama endosimbiótica porque deriva del griego que significa “vivir juntos dentro”. Las bacterias endosimbiontes pudieron haber sido originalmente fagocitadas. Generalmente los procariotas fagocitados son muertos y digeridos; a veces escapan y destruyen a sus captadores, pero también se puede dar el caso de que los dos sobreviven en estado de mutua tolerancia, lo que puede originar una mutua dependencia. De esta forma, las mitocondrias y los cloroplastos bien pudieron seguir la ruta anteriormente descrita es decir, vivir en simbiosis para la supervivencia mutua.

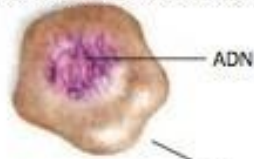
El origen del núcleo puede explicarse como el resultado de la internalización de una parte de la membrana externa. En los procariontes, el cromosoma circular está anclado a la membrana plasmática; por lo tanto, el plegamiento interno de una parte de la membrana plasmática podría haber desarrollado un saco intracelular conteniendo el material genético.

A continuación se presenta un esquema que explica la teoría endosimbiótica:

---

<sup>2</sup> Angulo, R., Galindo, U., Avendaño P. y Pérez A. (2012). *Biología celular*. Primera edición. Universidad Autónoma de Sinaloa. Dirección general de escuelas preparatorias: México.p. 35-36. Recuperado el 19 de julio, 2019 de: <http://dgep.uas.uasnet.mx>

**CÉLULA PROCARIOTA ORIGINAL**



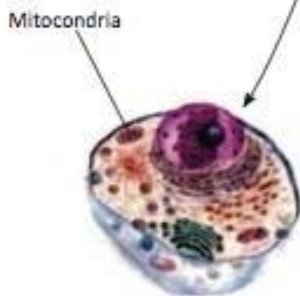
1. Célula que forma un núcleo mediante la invaginación de la membrana plasmática. El ADN queda rodeado de una doble membrana.



2. Célula que forma un sistema de endomembranas.



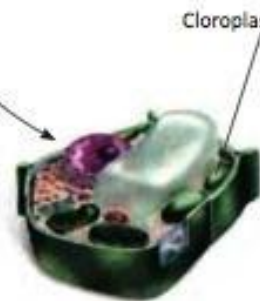
3. Célula que forma mitocondrias.



**Célula animal**  
Tiene mitocondrias, pero no tiene cloroplastos.



4. Célula que forma cloroplastos.



**Célula vegetal**  
Tiene tanto mitocondrias como cloroplastos.

Figura 1. Esquema que explica la teoría endosimbiótica.

### Anexo 3. Actividad de laboratorio: Observación de cloroplastos en algas verdes - Chlorophyta.

## Observación de cloroplastos en algas verdes - Chlorophyta

### Introducción<sup>3</sup>

Las algas verdes o clorofitas (División Chlorophyta) presentan clorofila a y b semejante a la que se encuentra en las plantas terrestres, además de carotenos y xantofilas. El material de reserva es el almidón. Esta división comprende aproximadamente 6200 especies distribuidas en ambientes de agua dulce, marino y terrestre. Las formas unicelulares forman parte del plancton, mientras que las pluricelulares se encuentran formando parte del bentos (Aguñiga et al., 2020).

#### Objetivo:

- Observar cloroplastos en algas verdes (Chlorophyta).

#### Material biológico:

- Alga verde (Chlorophyta) macroscópica y muestra de agua estancada.

#### Material diverso:

- Agujas de disección
- Aceite de inmersión
- Pinzas de disección
- Franela
- Pipetas Pasteur
- Porta y cubreobjetos
- Caja Petri
- Bisturí
- Agua destilada
- Lugol

**Equipo:** Microscopio compuesto de campo claro.

**Procedimiento.** En la caja Petri cortar un trozo del alga con ayuda del bisturí y las pinzas de disección, el tamaño aproximado de la muestra no debe rebasar el tamaño del cubreobjetos. Colocar una gota de agua destilada en el portaobjetos y sobre ella poner la muestra evitando la formación de burbujas. Agregar una gota de agua destilada sobre la muestra y finalmente el cubreobjetos. Hacer una segunda muestra, pero en esta ocasión agregar una gota de lugol sobre el trozo de alga en el portaobjetos.

Para observar la muestra de agua estancada, sólo se debe colocar una gota de agua sobre el portaobjetos y cubrir. Lo anterior debe repetirse varias veces para obtener mayores resultados. También se recomienda aplicar lugol a algunas muestras de agua estancada para resaltar los cloroplastos.

**Resultados.** Elaborar esquemas o tomar evidencia fotográfica de diferentes muestras poniendo especial atención en los cloroplastos e indicar el objetivo (10X, 40X, 100X) al que fueron hechas las observaciones.

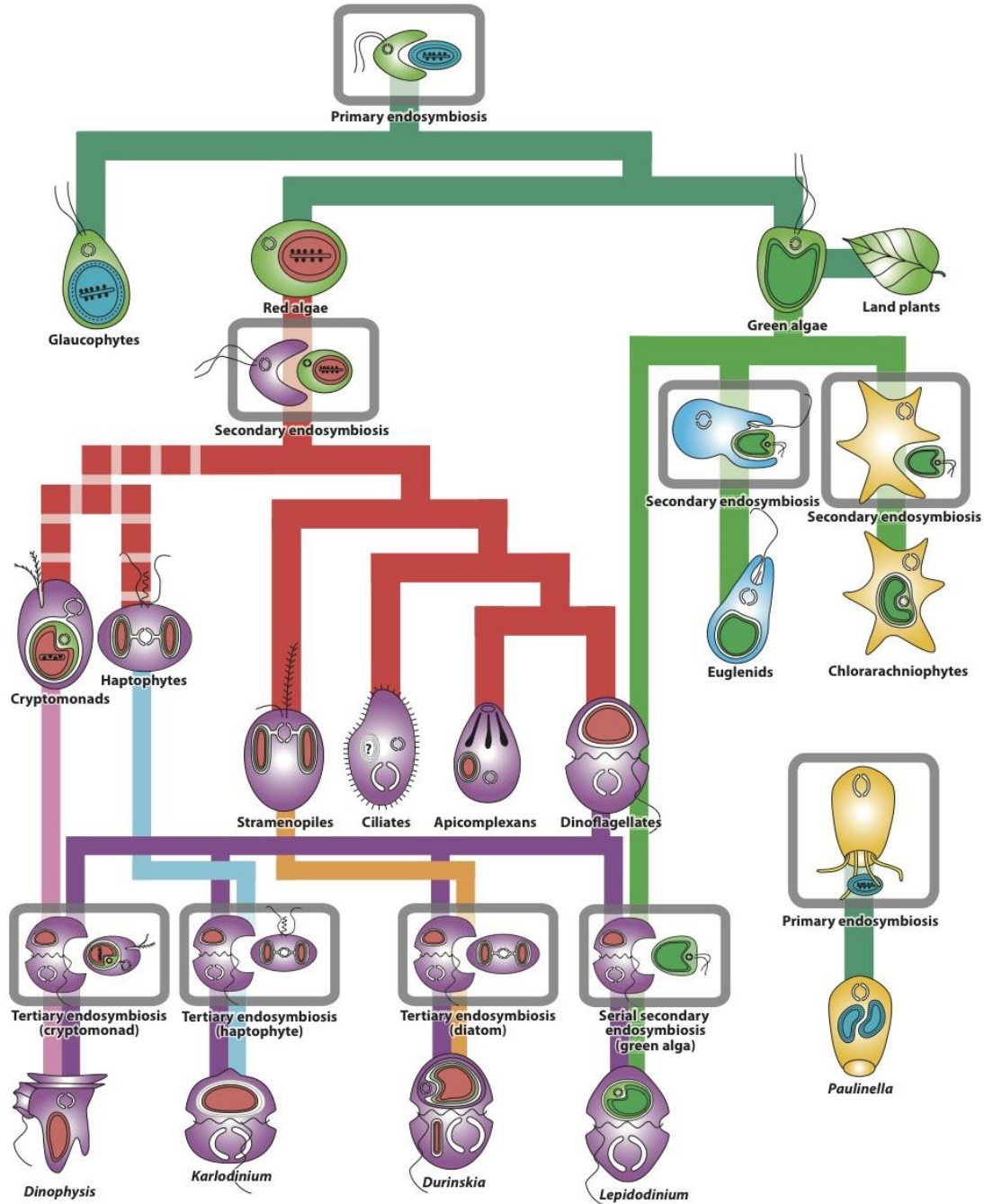
---

<sup>3</sup> Aguiñiga Sanchez. I., Alvarado Domínguez M. C., Ávila Ortiz A. G., Bautista Reyes C., Castillo Chaires I., Díaz Martínez S., Espitia Licea R., Hernández Anaya L., Hernández Muñoz M. A., Jiménez Encarnación M. E., Longares Méndez D. A., Luna Vásquez A., Niño de Rivera Oyarzabal M. del C., Ramos Velázquez J. R., Rivera Martínez A. R., Roldán Reyes E., Saito Quezada V. M., Soriano Martínez A. M., Zapata Cruz A. 2020. Laboratorio de Investigación Formativa II. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad De Estudios Superiores Zaragoza. México. Recuperado el 10 de noviembre, 2020 de: [https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/manuales/ML\\_LIF\\_II\\_2020.pdf](https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/manuales/ML_LIF_II_2020.pdf)

Anexo 4. Esquema: Eventos de endosimbiosis en algunos linajes de algas.

Eventos de endosimbiosis en algunos linajes de algas<sup>4</sup>

Keeling (2013)

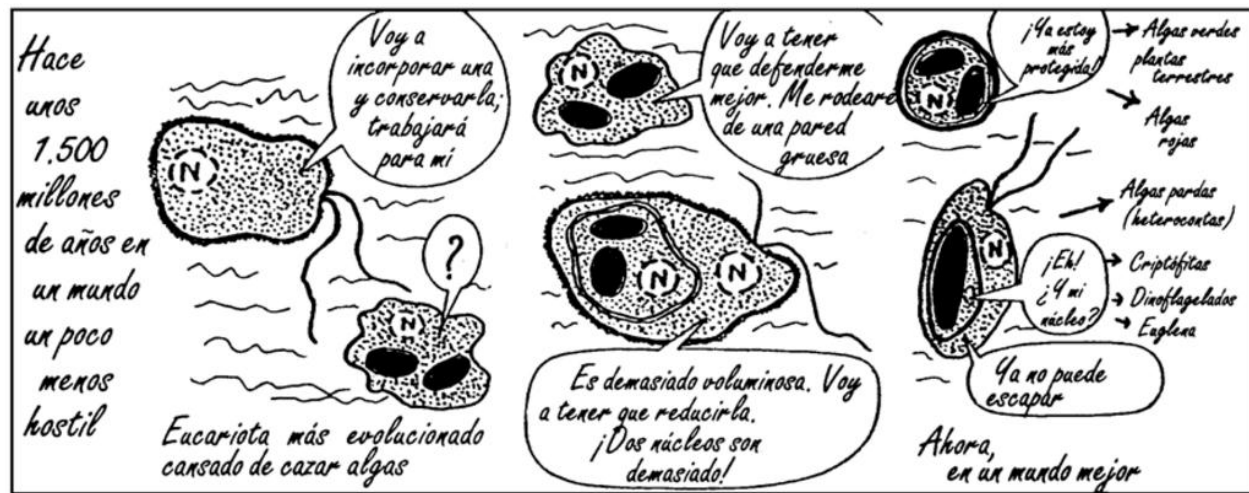
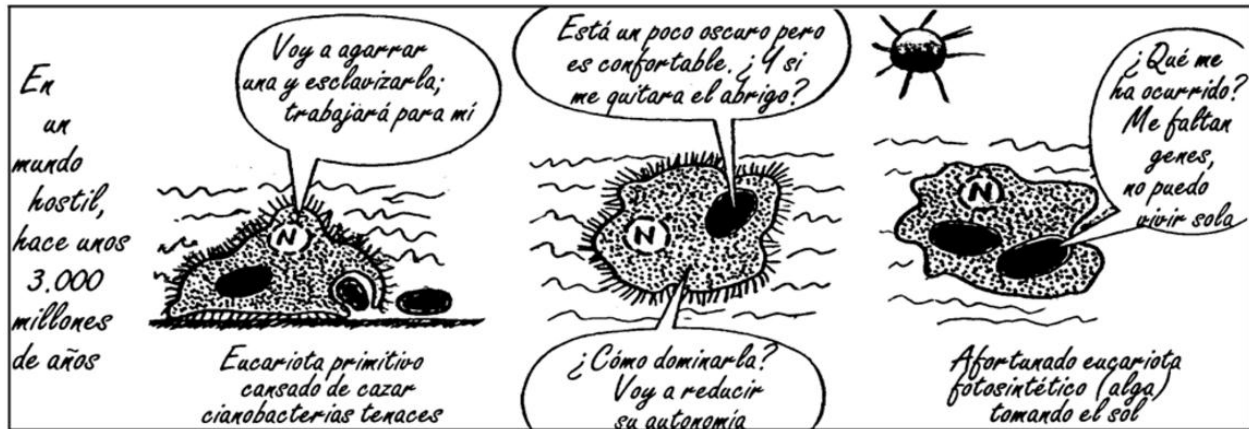


<sup>4</sup> Keeling, P. J. (2013). The Number, Speed, and Impact of Plastid Endosymbioses in Eukaryotic Evolution. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 583-607. Recuperado en Julio 2019, de: [www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)

## La saga de la endosimbiosis <sup>5</sup>

### Las mitocondrias y los plastos, testigos de la evolución

Selosse y Loiseaux-de Goër (1997)



<sup>5</sup> Selosse, M. A. y Loiseaux-de Goër, S. (1997). *Mundo científico*, 179, 436-441. Recuperado el 19 de julio, 2019 de: <https://sites.google.com/site/origendelavidaenlatierra/origen-de-los-eucariontes>. Recuperado el 19 de julio, 2019 de: <https://sites.google.com/site/origendelavidaenlatierra/origen-de-los-eucariontes>



## ESTRATEGIA DIDÁCTICA 8

Especie biológica. *Complejidad en el concepto de especie: el caso de las algas.*



### I. DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología II
SEMESTRE ESCOLAR	Cuarto Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

### II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 1. ¿Cómo se explica el origen, evolución y diversidad de los sistemas biológicos?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo:</b> Al finalizar, el alumno: Identificará los procesos que han favorecido la diversificación de los sistemas biológicos a través del análisis de las teorías que explican su origen y evolución para que comprenda que la biodiversidad es el resultado del proceso evolutivo.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos:</b> Identifica el concepto de especie biológica y su importancia en la comprensión de la diversidad biológica. <b>Aprendizajes operativos:</b> 1. Conoce diferentes definiciones de especie biológica. 2. Distingue la importancia de las especies en la diversidad biológica. 3. Describe un concepto complejo de especie tomando como ejemplo las algas.
TEMA(S)	Tema 2. Evolución biológica ● Especie biológica.

### III. ESTRATEGIA

Las actividades de esta estrategia están encaminadas al reconocimiento de diferentes definiciones de especie biológica, distinguiendo la importancia de las especies en la diversidad biológica y así lograr la



descripción de un concepto complejo de especie en el caso específico de las algas y la habilidad de extrapolar dicha definición a diferentes tipos de seres vivos. Lo anterior se logrará por medio de actividades retroalimentativas, tanto individuales, grupales y en equipo, como: la búsqueda bibliográfica, mapas conceptuales, cuadros comparativos, análisis de textos, elaboración de carteles representativos y reflexiones en plenaria, así como la resolución de ejercicios donde se reflejen los conocimientos y habilidades adquiridas.

#### IV. SECUENCIA

<b>TIEMPO DIDÁCTICO</b>	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
<b>DESARROLLO Y ACTIVIDADES</b>	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)          Los estudiantes investigarán diferentes definiciones de “especie biológica” y las registrarán en su cuaderno.</p> <p>De apertura (1 hora)          En clase se compartirán las definiciones previamente encontradas mediante un mapa conceptual (anexo 1) que se irá registrando de manera grupal en el pizarrón. Así mismo se realizará un cuadro comparativo (anexo 2) resaltando por un lado las semejanzas entre las definiciones y por otro las características específicas de los conceptos en cuestión.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(1 hora)          Se revisarán -por equipos de 6 integrantes aproximadamente-, las lecturas: El problema de la especie (anexo 3) y Concepto de especie en algas (anexo 4), detectando las características que de acuerdo con el autor debe contener el concepto de especie. Dichas características deberán enlistarse en sus cuadernos.</p> <p>(1 horas)          De la lista obtenida cada equipo representará una de las características en un cartel (formato anexo 5), que contendrá su definición y una imagen que ayude a ilustrar su texto. Al terminar pegaran todos los carteles juntos para reflexionar sobre este concepto complejo de especie en algas que plantea el autor.</p> <p>(1 horas)          Una vez analizado este caso en específico, por equipos discutirán si este concepto de especie puede ser aplicado a otros seres vivos y explicarán porqué. Las opiniones serán compartidas en plenaria con sus compañeros. El docente deberá hacer énfasis en la importancia de las especies en la</p>

	<p>diversidad biológica.</p> <p><b>Actividades de cierre:</b> (1 hora)</p> <p>Los estudiantes contestaran de manera individual ejercicios alusivos al tema, como los mostrados en el formato anexo 6, el profesor a cargo debe proponer ejercicios de acuerdo a las necesidades del grupo.</p>
<p><b>ORGANIZACIÓN</b></p>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<p><b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b></p>	<p>Recursos bibliográficos y/o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Aula-laboratorio de trabajo. Pizarrón y gises de colores o pintarrón. Papel bond. Marcadores de colores.</p> <p>Anexo 1. Formato mapa conceptual: Definiciones de especie biológica.</p> <p>Anexo 2. Cuadro comparativo: Definiciones de especie biológica.</p> <p>Anexo 3. Lectura: El problema de la especie.</p> <p>Anexo 4. Lectura: Concepto de especie en algas.</p> <p>Anexo 5. Formato cartel: Características de la definición compleja de especie biológica.</p> <p>Anexo 6. Ejercicios: Concepto complejo de especie.</p>
<p><b>EVALUACIÓN</b></p>	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se juntaran puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b></p> <p>Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto</p> <p>Actividades de inicio (apertura): mapa conceptual grupal.....1 punto</p> <p>cuadro comparativo grupal.....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b></p> <p>Primera actividad de desarrollo: lista de características por equipo.....2 puntos</p> <p>Segunda actividad de desarrollo: cartel por equipo por equipo.....3 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b></p> <p>Actividad de cierre: ejercicios individuales sobre el tema.....2 puntos</p> <p>La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.</p>

## V. REFERENCIAS DE APOYO

<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.</b>	Valencia, A. S. (1991). El problema de la especie. <i>Ciencias</i> , 24, 12-22. Recuperado en Julio, 2019 de: <a href="http://www.revistaciencias.unam.mx">www.revistaciencias.unam.mx</a>
<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR</b>	González-González, J. (1994). Las algas: sistemática de un grupo filofénético. En Llorente Bousquets, J. & Luna Vega, I. (Comps). <i>Taxonomía Biológica</i> pp. 299-332. Ediciones Científicas Universitarias: serie texto científico universitario. UNAM-Fondo de Cultura Económica. México. p. 305-309.
<b>COMENTARIOS ADICIONALES</b>	<p>Es responsabilidad del docente conocer la bibliografía recomendada para los estudiantes.</p> <p>Es importante que siempre se registre la fuente de donde se obtuvo la información para su buen manejo y como hábito de formación en los estudiantes.</p> <p>Los formatos de trabajo incorporados en la parte de anexos representan ejemplos de las actividades, estando libres para su modificación según las necesidades que se presenten.</p> <p>Se sugiere revisar también: González-González, J. (1987). Las Algas en México. <i>Ciencias</i>. No. 10. UNAM. México. p. 16-25. Recuperado en Julio, 2019 de: <a href="http://www.revistaciencias.unam.mx">www.revistaciencias.unam.mx</a></p>

## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Formato mapa conceptual: Definiciones de especie biológica.

**Anexo 2.** Cuadro comparativo: Definiciones de especie biológica.

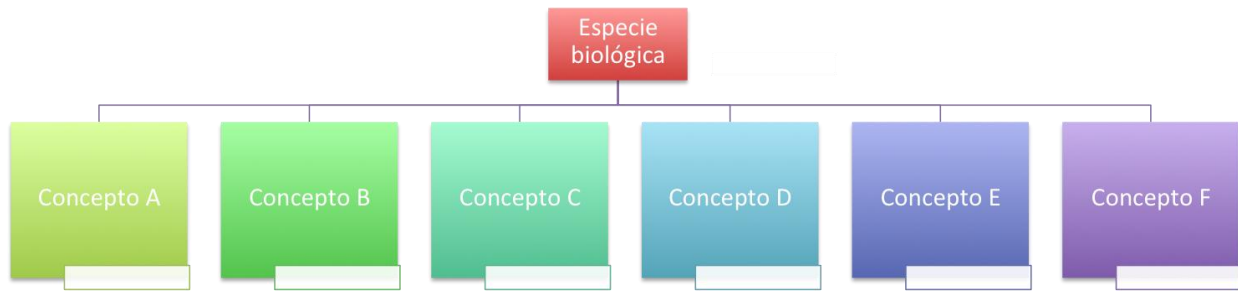
**Anexo 3.** Lectura: El problema de la especie.

**Anexo 4.** Lectura: Concepto de especie en algas.

**Anexo 5.** Formato cartel: Características de la definición compleja de especie biológica.

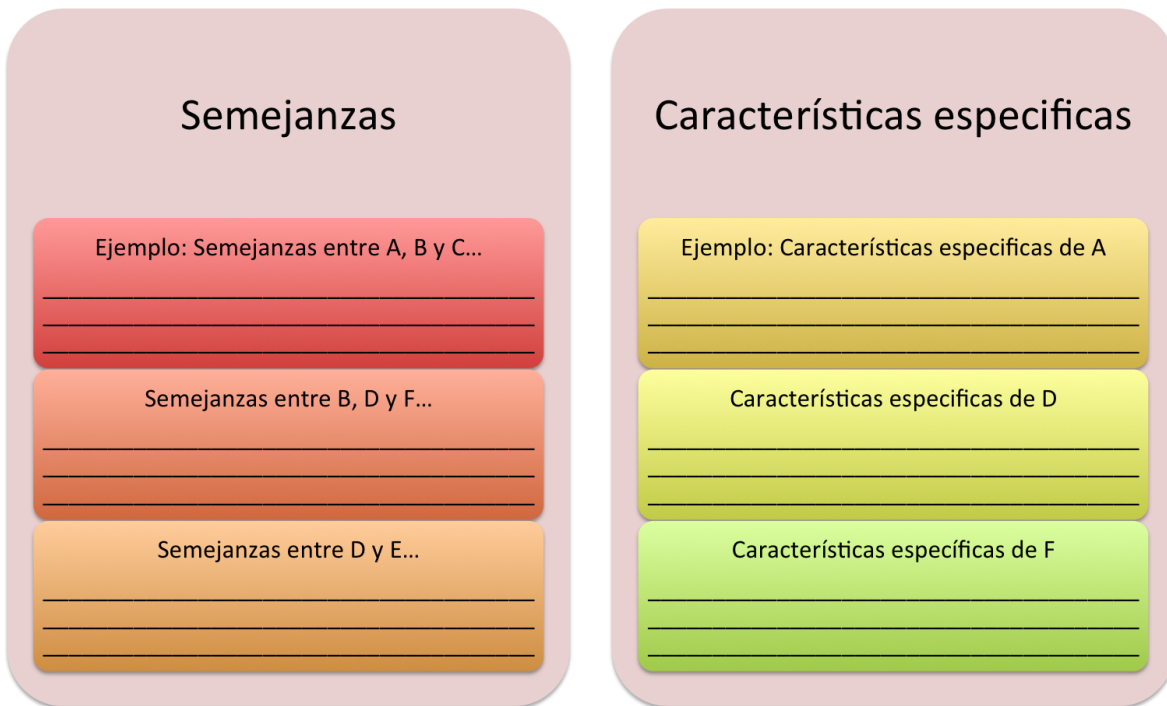
**Anexo 6.** Ejercicios: Concepto complejo de especie.

**Anexo 1.** Formato mapa conceptual: Definiciones de especie biológica.



**Anexo 2.** Cuadro comparativo: Definiciones de especie biológica.

## Contraste entre conceptos de “especie biológica”



## El problema de la especie<sup>1</sup>

Valencia (1991)

# El problema de la especie

SUSANA VALENCIA ÁVALOS

Los organismos del mundo se clasifican en especies. El hombre visualiza estas de diferente forma, según sus conocimientos, el grupo de organismos con que trabaja y el aspecto o punto de vista desde el cual los enfoca.

Las especies son importantes porque representan un nivel de integración básico en la naturaleza viviente (Mayr, 1957), porque proveen las bases para describir la diversidad natural y los procesos postulados que operan en la naturaleza (ej. especiación y competencia), (Rosenberg, 1985), y porque son la unidad básica de las clasificaciones taxonómicas y en sí mismas, un instrumento o herramienta para caracterizar la diversidad orgánica (Levin, 1979). Sin embargo debido a que los criterios para definir lo que es una especie son diversos han surgido polémicas que constituyen lo que se conoce como el problema de la especie.

La literatura donde se ha tratado de resolver tal problema es abundante, incluye desde discutir si las especies son entidades reales o no; pasando por numerosos conceptos de especie creados sobre diferentes bases (taxonomía, biología, ecología y evolución, en diferentes grupos de organismos: hongos, pteridofitas, líquenes, vertebrados, bacterias, etc.), análisis de los conceptos de especie con mayor difusión, "clasificándolos" según se refieren a la especie como un patrón o como un proceso.

Este problema aunque en su contenido fundamental corresponde al cam-

Susana Valencia Ávalos: Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM.



po de la biología, ha trascendido desde su origen al campo filosófico.

La mayoría de los autores de la literatura revisada coinciden en considerar a la especie como la unidad fundamental de trabajo, y en que ningún concepto de especie es universalmente aplicable a todos los organismos (Craft, 1987).

El propósito de este artículo es dar un panorama general de los principales conceptos de especie que han surgido en biología, los respectivos campos en los que se han pretendido aplicar y las ventajas y desventajas que presentan.

Para conocer el problema desde su origen, se ofrece una historia breve del surgimiento del mismo; y posteriormen-

te se abordan los conceptos de especie más difundidos y se discute cada uno en su parte correspondiente.

### Historia del problema

Definir lo que es una especie es un problema antiguo y controvertido, que quizá nació con en el significado original de la palabra.

La historia registra que *eidos* (especie) fue utilizada por primera vez por el filósofo griego Platón, para referirse a cosas o ideas, así como a clasificaciones politómicas de objetos en las que se involucran ideas políticas y sofistas. Al pasar este vocablo al latín llevó dos connotaciones: especie e idea. Consecuentemente la palabra especie es de origen latino, su significado es mirar, contemplar o tipo (Zirkle, 1957).

Aristóteles retoma el concepto de especie en un contexto biológico y siguiendo a Platón construye lo que se consideró en esa época, un "sistema de clasificación natural politómico, que diferiría de las clasificaciones dicotómicas de mayor antigüedad, consideradas artificiales (Hopwood, 1957).

Según Aristóteles, cada especie tiene una esencia, una naturaleza intrínseca, cada individuo que constituye la especie tiene tal naturaleza o esencia, que ésta puede conocerse por intuición con simples observaciones de muchos individuos (Slobodchikoff, 1976).

Los pensamientos de Aristóteles dominaron el mundo de la antigüedad por aproximadamente dos siglos y así, durante el florecimiento de las culturas antiguas y de hecho hasta la época medieval se utilizó la palabra especie para

<sup>1</sup> Valencia, A. S. (1991). El problema de la especie. *Ciencias*, 24, 12-22.

referirse, en un principio, a la apariencia de los objetos y después, por extensión, a la de los seres vivos. Por su significado la palabra especie también llegó a ser sinónimo de fantasma, ilusión, espectro o aparición (Zirkle, 1957).

Teniendo en cuenta el significado original de *especie* (contemplar, mirar), se deduce que las apariencias pueden variar, dependiendo del individuo que se observe así como del observador (subjetivismo). Así, se creía que lo único que realmente permanecía constante era la esencia del objeto o individuo observado y esto era lo que se buscaba "la verdadera esencia" de cada especie.

Durante la Edad Media (siglos V-XV) se utilizó la palabra especie, principalmente en tres sentidos: 1) los cuerpos que portaban a las almas de los seres vivos; 2) el pan y vino (especies), cuya verdadera esencia era el cuerpo y sangre de Cristo, respectivamente, y 3) las especies del "hombre lobo", de quien se tenía la rotunda certeza de su existencia, así, una especie era la del hombre, en el día y, otra la del lobo durante la noche, la especie cambiaba, pero la esencia verdadera, la de un "alma humana pecaminosa" se retenía (Zirkle, 1957).

Durante el medievo y principios del

Renacimiento (siglos XVI y XVII), las especies son consideradas como entidades efímeras y evasivas, lo cual se manifiesta en los numerosos trabajos que presentan listas de plantas y animales en las que los autores encontraron mutaciones que llamaron degeneraciones (Zirkle, 1959).

Las ideas de John Ray a finales del siglo XVII eran un tanto contrarias a las anteriores, pues él consideraba que la amplia variedad de las especies se mantenía dentro de ciertos límites y el número de ellas permanecía desde su creación por poder divino (Madrid, 1990).

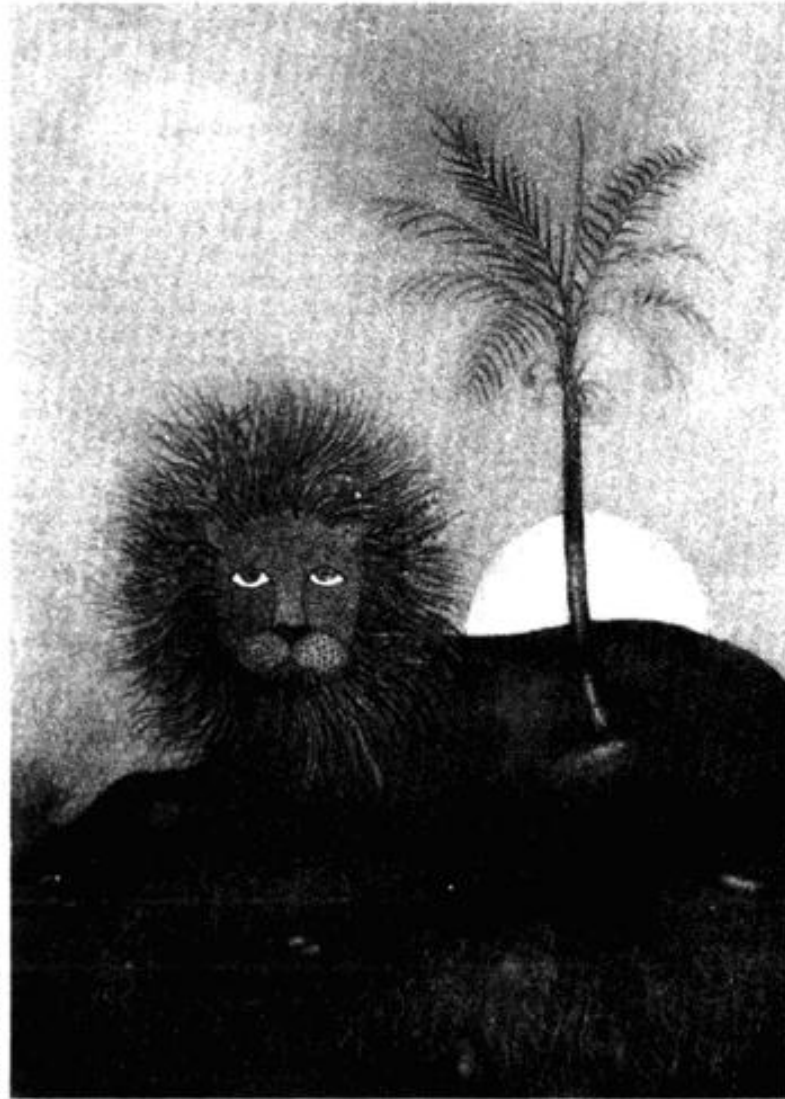
Durante el siglo XVIII fue tomando forma el concepto de especie dentro del contexto biológico que se le asigna actualmente, aunque las creencias dominantes concebían las especies como formas efímeras. Posteriormente, las observaciones y acumulación de conocimientos sobre los organismos condujeron a la idea de que las especies eran estables, al menos en la escala temporal en la que están disponibles para los seres humanos, y se distinguió entre especies y variedades. Buffon es el primero que concibe las especies como entidades reales, correspondientes a lo que ahora llamamos géneros o familias (Mayr, 1957).

La idea "fijista" sobre las especies fue ampliamente aceptada, principalmente por los teólogos, pues les permitía explicar que las especies habían sido creadas por Dios durante los seis días que se establecen en la Biblia.

Con Linneo, las especies se empiezan a manejar en el contexto actual; se le atribuye a él la creación de dos características que forman parte de la controversia del concepto de especie: 1) la constitución de la especie y, 2) la delimitación de su forma. Linneo consideraba a las especies también como unidades fijas, sin cambios (Mayr, 1957).

Las ideas de Darwin son antitéticas respecto a las de Linneo, ya que el primero consideró a las especies como unidades cambiantes, que evolucionan, lo que trajo como consecuencia la imposibilidad de delimitarlas, y definir las porque eran algo cambiante. Darwin consideró a las especies como algo puramente arbitrario y subjetivo.

Los seguidores de Darwin desconocieron a la especie como una entidad



León Paloma Almaguerra



real y consideraron a los individuos como la unidad evolutiva, afirmaron que las especies son creadas por los taxónomos para referirse a un gran número de individuos colectivamente. Estas ideas fueron abundantes y trascendieron hasta el presente siglo, así los trabajos de Bessey en 1908, y el de Haldane (1956) son ejemplos en donde explícitamente se dice que las especies no existen.

### Los conceptos de especie

De la reseña histórica anterior, se desprenden dos ideas opuestas sobre la entidad de las especies. Por un lado, se considera a las especies como unidades reales, estáticas en el espacio de tiempo disponible para el observador, y objetivamente delimitables; de esa idea, Linneo fue el exponente original y sus bases se encuentran en el concepto tipológico de especie. Los seguidores de esta corriente encontraron de gran utilidad dicho concepto, ya que estableció las bases para un estudio experimental y de observación de especies en fauna y flora locales. La otra idea considera a la especie como una entidad cambiante, imposible de delimitar y por consiguiente inexistente como unidad real en la naturaleza; su exponente original fue Darwin. Los seguidores de esta corriente, consecuentemente, no se interesaron por estudiar las especies como

unidades en la naturaleza, su unidad era el individuo. Mayr (1963) se refiere a esta posición llamándola: *concepto de especie nominalista*.

Posteriormente, y debido a la imposibilidad de aplicar alguno de estos conceptos de especie al grupo de trabajo en el que se investigaba, se han creado otros numerosos y diferentes. Cada uno varía dependiendo del campo en que se ha utilizado; así, en evolución, ecología, genética, paleontología, microbiología, y aun en taxonomía, surgen conceptos de especie según el grupo en el que se trabaja, ejemplo de esto último son los trabajos de Muller (1942), quien discute el concepto de especie aplicado al género *Quercus*; el de Mattson y Lumbsch (1989) para líquenes y el de Cléménçon (1977) aplicado en hongos.

Estos conceptos de especie, de acuerdo con Lidén y Oxelman (1989), pueden ser divididos en dos grupos según se considere la especie como un proceso o como un patrón.

Grant (1989), por su parte, tratando de resolver el problema, considera que deben existir cinco conceptos básicos de especie para satisfacer a los diferentes grupos que se trabajan en diferentes contextos, éstos son: especie taxonómica, especie biológica, microespecie, especie sucesional y especie biosistemática.

Mayr (1957) afirma, tras realizar una revisión de los conceptos de especie, que todos ellos se fundamentan en tres principales: especie tipológica, especie adimensional y especie dimensional, y que la comprensión de estos tres ayuda a entender mejor los restantes.

A continuación se expone en qué consisten los conceptos de especie con mayor difusión en biología, agrupándolos según el concepto en el que se fundamentan.

### Criterios morfológicos

#### *Concepto de especie tipológica*

Es el más antiguo y simple que se conoce, nació de las ideas de Platón y Aristóteles. Originalmente se utilizó para referirse a objetos, tratando de buscar o encontrar la verdadera esencia de las cosas, por ello, también es conocido como concepto esencialista.

Según Mayr (1963), este concepto establece que los individuos no presentan ninguna relación especial uno con otro, sólo son expresiones del mismo tipo. La diversidad del universo refleja la existencia de un número limitado de tipos y la variación es el resultado de manifestaciones imperfectas en cada especie. La presencia de la misma esencia o tipo, se infiere de la similitud morfológica, criterio con que se establece este concepto considerado también como de especie morfológica y que, según Eldredge y Cracraft (1980), fue el utilizado por Linneo para delimitar las especies.

El concepto de especie tipológica considera que las especies son agregados azarosos de individuos que tienen las "propiedades esenciales" o de los "tipos" de las especies acorde con las diagnósticas (Mayr, 1957).

De acuerdo con Hull (1965) son tres los dogmas de los tipólogos: 1) la aseveración ontológica de que las formas existen, 2) la aseveración metodológica de que la tarea de la taxonomía como ciencia es discernir la esencia de las especies y 3) la aseveración lógica de que las esencias y especies deben ser definidas.

El criterio principal para establecer especies fue detectar las diferencias de los organismos, lo cual condujo a dificultades y fue abandonado por la mayoría de sus adeptos, pues, por ejemplo

el considerar las diferencias sexuales conducía a establecer dos especies diferentes: una, la del macho y, otra, la de la hembra (Mayr, 1963).

Otra objeción que Mayr (1957) hace a este concepto es que considera a las especies como grupos de objetos, ignorando que se trata de poblaciones naturales con organización y estructura interna compleja. Las especies son comunidades reproductivas con variación, con juegos de genes o genoma básico y unidades ecológicas que interactúan; este concepto, por ignorar todas estas características de las especies, es inadecuado en Biología. Es útil, sin embargo para sentar las bases del concepto de especie taxonómica que se expone en seguida.

#### *Concepto de especie taxonómica*

También conocido como de especie fenética "Es la unidad básica de la clasificación taxonómica" (Grant, 1989), sobre la que descansa la clasificación biológica, una unidad fenética discreta, separada de otras por su discontinuidad en variación (Stace, 1978) y es también considerada la categoría más importante por Levin (1979). Este concepto se basa en distinguir unidades bajo el criterio morfológico, y se considera un aspecto práctico. La especie taxonómica es una categoría artificial, que en la mayoría de los casos no coincide con las unidades reales de la naturaleza.

Su principal desventaja es la subjetividad, pues no determina objetivamente el grado de diferencias que debe tener la categoría de especie. Es lícito establecer los límites de las unidades arbitrariamente y muchas veces estos límites no coinciden al contraponerlas con lo que se conoce como especie biológica, lo que conduce a definir a una especie taxonómica. Según algunos autores (Stace 1978) considera a esto como una posición cínica frente al problema), como "un grupo de individuos lo suficientemente distintos de otros grupos para ser considerado por los taxónomos merecedor de la categoría de especie". Estas objeciones repercuten en el sistema taxonómico.

De acuerdo con Anderson (1990), el concepto de especie fenética o taxonómica es puramente operacional y se basa en hechos demostrables empírica-

mente, porque hace hipótesis de la naturaleza biológica o verdadera de las especies.

Dentro de este concepto, queda contemplada la morfoespecie paleontológica, a la que se refiere Thomas (1953) como unidad estática invariable, motivo por el que este tipo de especie podría quedar también como sinónimo de especie tipológica. Dependiendo del material fósil de que se disponga se estará aplicando uno o el otro concepto de especie.

#### **Criterios de continuidad genética**

Los dos conceptos que se exponen a continuación, sirvieron de base para establecer el concepto de especie biológica, que, a su vez es la base para la proposición de conceptos que se expondrá finalmente.

#### *Concepto de especie adimensional o no dimensional*

Las ideas de este concepto son similares a las de la especie simpátrica; este concepto es utilizado para referirse a las especies que coexisten en poblaciones naturales en un sistema no dimensional, es decir, una sola localidad en el mismo tiempo. La distinción de las especies se basa en características definidas por las especies involucradas y consistente en el aislamiento reproductivo.

Las relaciones de dos especies diferentes pueden definirse aquí como aislamiento reproductivo y es la base de este concepto. Jordan en 1905 fue el primero que lo utilizó y es al que generalmente se recurre cuando hay problemas de delimitación de especie (Mayr, 1957).

#### *Concepto de especie multidimensional*

Mayr (1957) se refiere a este concepto como de tipo colectivo al considerar a las especies como grupos de poblaciones que se entrecruzan mutuamente.

Este concepto es sintetizado por Benson (1962) cuando define a una especie natural viviente como "una población reproductiva o sistema de poblaciones de individuos estrechamente relacionados genéticamente". Benson hace la misma objeción que Mayr a este concepto: "el qué tan precisamente esté relacionada no se puede respon-



der, y entonces esta definición" (como también lo hace notar Mayr (1957) "puede asignarse de igual forma a rangos infra o supraespecíficos, para lo cual solamente se eliminaría la palabra *estrechamente*".

Otra objeción es la dificultad de delimitar claramente ante otros grupos similares. Levin (1979) señala que las especies de plantas definidas por poblaciones que se entrecruzan, son difíciles





de justificar por el poco conocimiento que se tiene de flujo de genes.

#### Concepto de especie biológica

Este concepto, también llamado por Simpson (1961) de especie genética, es, junto con el de taxonomía y el de evolución, de los más utilizados en biología. Fue "presagiado" por los naturalistas del siglo XIX y principios del XX,

pero no tomó forma hasta después de 1930.

De acuerdo con Mayr (1963), este concepto se basa en que las especies están formadas de poblaciones con una realidad y cohesión genética, lo cual conduce a establecer que los miembros de una especie poseen las características para conformar una unidad reproductiva, ecológica y genética, estableciendo entonces, que "las especies son grupos de poblaciones naturales de entrecruza que se reproducen aisladamente de otros grupos".

Dos premisas están implícitas en este concepto: 1) el aislamiento reproductivo que mantiene la especie como unidad discreta y, 2) el intercambio genético dentro de la unidad, confiriéndole características morfológicas que pueden ser utilizadas de una manera práctica en clasificación. Este concepto ha sido más aplicado en zoología que en botánica.

Algunas de las objeciones que se le han hecho se refieren a que es poco operacional y práctico (Sokal y Crovello, 1970; Grant, 1989), ya que, como mencionan Burger (1975) y Levis (1979), los límites de intercambio genético son muy oscuros para la adopción del concepto biológico.

Según Burger, si el concepto de especie biológica fuera aplicado en todos los grupos, cambiaría con seguridad el sistema de clasificación, pues para muchos organismos éste no corresponde con el concepto de especie taxonómica, y lo que se conoce como géneros o subgéneros tendría el nivel de especie y los grupos que se manejan como especies corresponderían a lo que Van Valen (1976) definió como *multiespecies*: "un juego de especies simpátricas que intercambian genes en la naturaleza" y, a su vez, este grupo sería equivalente a *singameon*, ampliamente tratado por Grant (1989), para encinos blancos. Éste último menciona que un *singameon*, puede comportarse como una especie biológica pero con una estructura interna más compleja, cuyos componentes son tratados "correctamente" (según el concepto taxonómico) como especies.

Con todas sus implicaciones, este concepto es aplicable solamente a organismos que se reproducen sexualmente, y pierde validez cuando se hace extensivo a individuos que se reproducen

asexualmente (apogamia, agamosperma, mitosis en bacterias y afines).

Como se puede apreciar, el concepto de especie biológica reúne los dos conceptos previamente propuestos por Mayr (1957), los de especies adimensional y multidimensional. En el primero en el que queda de manifiesto el aislamiento reproductivo de las especies (especies simpátricas que mantienen su aislamiento); y en el segundo se establece que las poblaciones mantienen su identidad como especie debido al intercambio genético.

De acuerdo con Cracraft (1987), este concepto en su contexto adimensional es el único sobre el que puede desarrollarse la teoría evolutiva; asimismo hace la observación de que este concepto deja de lado la dimensión temporal.

#### Concepto de especie evolutiva

Simpson (1961) propone el concepto de especie evolutiva para resolver el problema de especie biológica que no se podía aplicar a organismos con reproducción asexual. Así, define que "una especie evolutiva es un linaje (una secuencia ancestro-descendiente de poblaciones) que evoluciona separadamente de otras y con sus propias tendencias y su propio papel evolutivo unitario".

Posteriormente Wiley (1978) hace un análisis para el concepto de especie evolutiva modificándolo ligeramente, se refiere a él como "el único linaje de poblaciones ancestro descendientes que mantienen su identidad ajena a otros linajes y tiene sus propias tendencias evolutivas y destino histórico".

Con base en observaciones realizadas por Wiley (1978, 1981), Llorente (1986), se refiere a linaje como uno o una serie de *demos* que comparten una historia común de descendencia no compartida por otros *demos*; identidad es definida como la cualidad que una entidad posee como producto de su origen y su capacidad para permanecer distinta de otras entidades.

Este concepto no descarta la idea de polifilia, pues al definir linaje como "demos que comparten una historia común de descendencia no compartida por otros *demos*", pueden incluirse aquellas especies que se originan por hibridación, lo que es factible sobre en

todo en vegetales, y carácter que hace a este concepto diferente del concepto de especie filogenética, donde la monofilia es uno de los caracteres más fuertes para definir especies.

De acuerdo con Wiley (1978), el concepto de especie evolutiva presenta varias implicaciones:

1) Todos los organismos, pasados y presentes pertenecen a alguna especie evolutiva.

2) Las especies deben estar aisladas reproductivamente unas de otras tanto como se requiera para mantener separadas sus identidades, tendencias y destinos.

3) La especie evolutiva puede o no exhibir diferencias fenotípicas reconocibles, entonces cualquier investigador puede sobre o subestimar el número de linajes independientes en un estudio.

4) Ningún linaje evolutivo puede ser subdividido dentro de una serie de especies ancestrales y descendientes.

Este concepto, aunque aplicable a todos los grupos de organismos, implica problemas filosóficos debido a que abarca tanto procesos como patrones para determinar lo que es una especie considerada en este contexto como atemporal (Lidén y Oxelman, 1989). Por otro lado es inoperante porque el criterio decisivo de afiliación de linaje no puede ser demostrado. Anderson (1990) afirma que los defensores del concepto de especie evolutiva sostienen la determinación del linaje con base en la expresión fenotípica, lo cual conduciría, en sentido amplio, a utilizar el concepto de especie taxonómica.

En este último puede quedar incluido el segundo concepto utilizado en paleontología para ser aplicado a fósiles, al cual se le da el nombre de Cronoespecie (especies sucesionales), y que es definido por Thomas (1953) como "el grupo de fósiles que aparecen en estratos sucesivos litológicamente intercambiables con variaciones graduales en sucesivas series evolutivas, la cronoespecie estaría formada por varias morfoespecies politípicas sucesionales".

#### Concepto de especie ecológica

Es propuesto por Van Valen (1976) con base en el concepto de especie evolutiva. Define a la especie como "un linaje (o juego de linajes estrechamente relacionados) que ocupa una zona



adaptativa mínimamente diferente de algún otro linaje en su rango y la cual evoluciona separadamente de todos los linajes fuera de su rango".

Según este concepto, las especies no pueden ser definidas, sólo explicadas por las zonas adaptativas que habitan. La zona adaptativa es considerada por Anderson (1990) como un concepto similar al de nicho ecológico, pero con mayor amplitud.

Ghiselin en 1987, objeta el concepto de especie ecológica por 5 razones: 1) es una verdad trillada considerar que una especie ocupa un nicho, 2) la

similitud ecológica no es una relación objetiva, 3) diferentes miembros de una especie (diferentes sexos) pueden ocupar diferentes nichos, 4) las especies no evolucionarían si fueran definidas por sus nichos y 5) los miembros de una especie pueden cambiar sus nichos con el tiempo y dejar de ocupar el nicho original con un rumbo parafilético.

Para Anderson, este concepto tiene potencialidad para explicar la especiación sobre bases comunes a todos los organismos, fundar hipótesis acerca de las leyes de diversidad en el mundo vivo y proveer criterios nuevos prácticos en taxonomía.

#### Concepto de especie filogenética

Han surgido dos conceptos esencialmente diferentes bajo este nombre.

El primero de ellos, propuesto por Cracraft en 1978 y Ereshefsky en 1989, define a una especie filogenética como "un grupo irreducible de organismos, en los cuales hay un patrón parental de ancestría y descendencia, que es diagnosticablemente distinto del de otros grupos, así, las especies son taxa basales diferenciados". Este concepto es muy similar al concepto de especie evolutiva, pero las ideas de "irreducible y diagnosticablemente distinto" los hacen diferentes y conducen a considerar como especies a grupos que en la actualidad reciben el nombre de poblaciones o de razas. Por ejemplo para la

**Grupo parafilético:** El grupo de taxa que incluye el grupo ancestral, pero no a todos sus descendientes.

**Grupo polifilético:** El grupo de taxa que incluye a los taxa descendientes de más de un taxón ancestral.

**Grupo monofilético:** Es el grupo que incluye a todos los taxa descendientes de un solo taxón ancestral.

**Linaje:** Línea. Ascendencia o descendencia de cualquier organismo. "Uno o una serie de demos que comparten una historia común de descendencia no compartida por otros demos". Sensu Llorente, 1986.

**Demo:** población.

**Sinapomorfía:** "Carácter homólogo que se encuentra en dos o más taxa que hipotéticamente se ha emitido de la especie ancestral más cercana a estos taxa y no de ancestro más antiguo". Sensu Llorente, 1986.

de evolución (los primeros miembros de un linaje no pueden cruzarse con los últimos).

La continuidad del linaje cladista garantiza que las especies siempre serán del mismo linaje, pues adaptaciones relevantes pueden cambiar a través del tiempo.

### El problema permanece

Aunque se han realizado esfuerzos para establecer un concepto de especie universal, no existe hasta la fecha uno aplicable a todos los organismos y subsisten muchos problemas de definición de especie para algunos grupos, como los que se reproducen asexualmente, y que, para plantas, Grant (1989) denomina *microespecies*. Las microespecies se consideran resultado de organismos originados por hibridismo, en los cuales sólo se presenta la reproducción uniparental debido a la alteración de genes por combinación interespecífica.

El caso de microorganismos que se reproducen asexualmente también es controvertido, pues su reproducción y la inaccesibilidad para observar caracteres morfológicos que los diferencien ha propiciado que algunos investigadores los lleguen a negar como especie. Las especies en estos grupos se caracterizan y se delimitan de acuerdo con las respuestas fisiológicas que presentan al ser tratados con diferentes sustancias químicas o enzimas, es decir, los factores ambientales juegan el papel principal para determinar caracteres morfo-fisiológicos.

Otro problema se presenta en paleontología, donde las restricciones son mayores que cuando se trabaja con organismos actuales, ya que en muchos casos los registros fósiles no son suficientes para conocer la variación de un grupo al que se ha dado el rango de especie; o por el contrario, como los grupos fósiles tienen su base en conocimientos de organismos actuales y los fósiles suelen ser fragmentarios, las partes que se encuentran son asignadas a diferentes especies o conducen a trabajar a nivel genérico. Más que conceptual, en paleontología el problema es metodológico, y consecuentemente repercute en lo conceptual.

Los líquenes constituyen otro grupo que ofrece dificultades para la definición de especie. Por ser simbiosis de algas y hongos son dos especies dife-



rentes, que están formando otra "especie". Mattson y Lumsch (1989) los incluyen dentro del concepto de *especies pares*.

Los vegetales cultivados, surgidos a través de la hibridación artificial, son otro problema al que Grant (1989), ha llamado de *especies biosistemáticas*.

Por otro lado, y lejos de estos problemas específicos, existen otros relativos al reconocimiento de las especies aplicando algunos de los conceptos con criterios de continuidad genética, debido a la falta de información que se tiene sobre los grupos. Las objeciones a cada concepto se expresan en los respectivos apartados.

Cada concepto sigue diferente criterio para definir lo que es una especie, consecuentemente los grupos que resultan de aplicar uno u otro concepto pueden ser diferentes, es decir, no son equivalentes; esto acarrea problemas serios que pueden repercutir en las clasificaciones taxonómicas y en el lenguaje científico.

Es necesario mencionar que, en años recientes, ha surgido otra contro-

versia en torno a la consideración de la especie como individuo o como clase. Los puntos de vista de Ghiselin (1987) y Mayr (1987), apoyan la idea de considerarla como un individuo cuando es definida como especie biológica o aplicando alguno de los conceptos con bases genéticas, ya que así, se puede localizar en el espacio y en el tiempo, ver si está bien organizada, es cohesiva en algún tiempo, continua en el mismo, además, determinar si presenta especiación, hibridación o extinción. Por su parte, considerar a la especie como una clase sería aplicable cuando ésta se define según el concepto de especie taxonómica, pues Mayr (1987) dice que, para que una clase exista, deben existir miembros que tengan alguna o algunas características consideradas como los criterios de membresía de la clase, tales características son llamadas propiedades de definición. Caplan y Bock (1988), Falk (1988), Splitter (1988) y Kluge (1990) han hecho numerosos comentarios al respecto, provocando que el problema de especie sea aún más denso.



### Discusión y conclusión

Las especies son unidades que se han definido de diferentes formas, dependiendo del contexto espacio temporal en el que han sido consideradas.

Un análisis de lo expuesto en este trabajo, sugiere que los conceptos que han surgido a lo largo de la historia de este problema, tienen como base los conceptos de las especies adimensional, multidimensional (biológica) y morfológica (taxonómica), por lo que los llamaré conceptos base y al resto de ellos, conceptos derivados.

Aplicar alguno de los conceptos derivados para delimitar una especie es difícil, porque faltan evidencias que nos ayuden a hacerlo y entonces pareciera que se entra a un ciclo, donde cada nuevo concepto tiene que regresar a los conceptos básicos cuyos criterios son de entrecruza y aislamiento reproductivo para delimitar especies.

Como fue indicado por Ridley, para el concepto cladista (yo lo extrapolaría para todos los conceptos derivados), se dan soluciones teóricas que nueden

acercarse a la realidad, pero no se ofrece la solución práctica para reconocer las especies en el campo; para ello es necesario regresar a los conceptos de especie taxonómica y especie biológica. El resto de los conceptos son herramientas complementarias que contribuyen a la delimitación de un grupo. Teniendo en cuenta lo anterior se puede decir que los conceptos se complementan, no son exclusivos, ni absolutos, sino interdependientes.

No obstante las críticas hechas a los conceptos de especie taxonómica y biológica, son éstos los más ampliamente utilizados para definir especies.

Por otro lado, no se puede aceptar ni rechazar total y radicalmente un concepto determinado de especie; cada uno de ellos fue creado para ser aplicado en un campo de trabajo en particular y dentro de él adquiere sentido, aunque —como ya se indicó—, quizás habrá que utilizar otros conceptos como auxiliares, para poder definir como especie el grupo sobre el que se trabaja.

Lejos de cualquier definición o idea que se tenga, actualmente las especies

son entidades reales que existen en la naturaleza (Cracraft, 1987; Llorente, 1986) independientemente de la capacidad del hombre para definirlos y de los criterios utilizados para hacerlo. Presentan características intrínsecas como: reproducirse, jugar un papel ecológico, interactuar con otros organismos, tener una base genética, presentar cambios y variaciones espaciotemporales; todas características que hacen difícil definir de manera objetiva y universal lo que es una especie y se convierten en el fundamento de tan controvertido y antiguo problema. ♦

### Referencias

- Anderson, L., 1990, The driving force: species concepts and ecology, *Taxon* 39(3):375-382.
- Benson, L., 1962, *Plant taxonomy. Methods and principles*, The Ronald Press Co., N. Y., U.S.A. 494 pág.
- Burger, W. C., 1975, The species concept in *Quercus*, *Taxon* 24(1): 45-50.
- Caplan, A. and W. J. Bock, 1988, Continuing commentary on Michael Ghiselin and Ernst Mayr, *Biology and Philosophy* 3:443-454.
- Cléménçon, H. (Ed.), 1977, *The species concept in Hymenomyces*, Cramer, Alemania, 444 pag.
- Cracraft, J., 1987, Species concepts and the ontology of evolution, *Biology and phylogeny* 2:329-346.
- Eldredge, N. and J. Cracraft, 1980, *Phylogenetic patterns and the evolutionary process*, Columbia University Press, U.S.A. pp. 87-112.
- Ereshefsky, M., 1989, Where is the species? Comments on the phylogenetic species concepts, *Biology and Philosophy* 4:89-96.
- Falk, R., 1988, Species as individuals, *Biology and Philosophy* 3:455-462.
- Ghiselin, M. T., 1987, Species concepts, individuality, and objectivity, *Biology and Philosophy* 2:127-143.
- Grant, V., 1989, *Especiación vegetal*, Limusa, México, 587 pag.
- Haldane, J. B. S., 1956, Can a species concept be justified? In: *Systematics Association Publication No. 2 The Species Concept in Paleontology*, pp. 95-96.
- Hopwood, A. T., 1957-1958, The development of pre-Linnean taxonomy, *Proc. Linn. Soc. Lond.* 170: 230-234, Reprinted in C. N. Slobodchikoff (Ed.), 1976, *Concepts of Species*, Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Stroudsburg, Pennsylvania, pp. 10-14.
- Hull, D. L., 1965, The effect of essentialism on taxonomy - two thousand years of stais (I). *Br. J. Philos. Sci.* 15(60):314-326. Reprinted in: C. N. Slobodchikoff (Ed.), (1976). *Concepts of species*, Dowden,

NUESTRA  
PROPIA AGENDA  
SOBRE  
DESARROLLO Y  
MEDIO  
AMBIENTE

INFORME DE  
LA COMISIÓN  
DE  
DESARROLLO  
Y MEDIO  
AMBIENTE DE  
AMÉRICA  
LATINA Y EL  
CARIBE

\*Una visión múltiple  
del tema

\*Una visión política y  
técnica que parte de  
la región.

\*Una contribución al  
debate Mundial sobre  
esta problemática.



- Hutchinson & Ross, Inc. Stroudsburg, Pennsylvania, pp. 46-58.
- Kluge, A. G., 1990, Species as historical individuals. *Biology and Philosophy* 5:417-431.
- Levin, D. A., 1979, The nature of plant species. *Science* 204: 381-384.
- Lidén, M. and B. Oxelman, 1989, Species, pattern or process?, *Taxon* 38(2):228-232.
- Llorente B. J., 1986, Algunas ideas de la teoría sistemática contemporánea: conceptos en cladismo. *Cienciar (Polémicas Contemporáneas en Evolución)* pp. 74-86.
- Madrid, V. J., 1990, La especie: de Ray a Darwin. *Cienciar* 19:3-9.
- Mayr, E., 1963, *Populations, species and evolution an abridgement of animal species and evolution*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, U.S.A., pp. 10-20.
- Mayr, E., 1957, Species concepts and definitions. The species problem, E. Mayr (Ed.), *Am. Assoc. Adv. Sci. Publ.* 50:1-22. Reprinted in: C. N. Slobodchikoff (Ed.) (1976). *Concepts of species*. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Stroudsburg, Pennsylvania, pp. 24-45.
- Mayr, E., 1987, The Ontological status of species: scientific progress and philosophical terminology, *Biology and Philosophy* 2:145-166.
- Mishler, B. D. and R. N. Brandon, 1987, Individuality, pluralism and the phylogenetic species concept, *Biology and Philosophy*, 2:397-414.
- Rhodes, F. H. T., 1956, The time factor in



- taxonomy. In: Systematics Association Publication, No 2 *The species concept in paleontology*, pp. 33-52.
- Ridley, M., 1989, The cladistic solution to the species problem, *Biology and Philosophy* 4:1-16.
- Simpson, G. G., 1961, *Principles of animal taxonomy*. Columbia University Press. U.S.A., pp. 152-155.
- Slobodchikoff, C. N., 1976, *Concepts of species* (Introduction), Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Stroudsburg, Pennsylvania, pp 1-5.
- Splitter, L., 1988, Discussion: Ghiselin and Mayr on species. *Biology and Philosophy* 3:462-467.
- Stace, C. A., 1978, Breeding systems, variation patterns and species delimitation, In: H. E. Street (Ed.) *Essays in plant taxonomy*, Academic Press. London, England, pp. 57-78.
- Thomas, G., 1956, The species conflict abstractions and their applicability. In: Systematics Association Publication. No. 2 *The species concept in paleontology*, pp. 17-31.
- Van Valen, L., 1976, Ecological species, multispecies, and oaks, *Taxon* 25(2/3):233-239.
- Wiley, E. O., 1978, The evolutionary species concept reconsidered, *Systematic Zoology* 27(1):17-26.
- Zirkle, C., 1959, Species before Darwin. *Proc. Am. Philos. Soc.* 103(5):636-644. Reprinted in: C. N. Slobodchikoff (Ed.) (1976). *Concepts of Species*. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Stroudsburg, Pennsylvania, pp. 15-23.

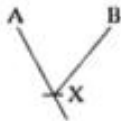
especie biológica *Homo sapiens*, bajo el concepto de especie filogenética de Cracraft, se podrían distinguir varias especies equivalentes a las razas actuales.

El otro concepto de especie filogenética, fue propuesto por Mishler y Donoghue (1982) y más tarde retomado por Mishler y Brandon (1987), quienes lo definen como "el taxón inclusivo más pequeño reconocido en clasificación, en el cual los organismos son agrupados por su evidencia de monofilia (generalmente, pero no restringidos a la presencia de sinapomorfias), que es categorizado como especie por ser el linaje importante más pequeño que se juzga digno de reconocimiento formal, donde importante se refiere a la acción de aquellos procesos que son dominantes en producir y mantener linajes en un caso particular".

También definen a un taxón monofilético como el grupo que contiene a todos a los descendientes de un ancestro común, y sólo a ellos, y que se originaron en un solo evento. La monofilia se puede reconocer por el análisis de sinapomorfias (caracteres primitivos y derivados), lo cual concuerda con la práctica taxonómica actual.

Mishler y Brandon mencionan que este concepto es aplicable a organismos con reproducción asexual y que supera el de especie evolutiva, por considerar que la monofilia es más inclusiva que la entrecruza de poblaciones utilizada en el concepto de especie evolutiva.

El criterio involucrado es el de agrupación, especifica las condiciones genealógicas bajo las que tales grupos pueden ser reconocidos como especies, y tal vez, no pueda ser utilizado para reconocer entidades biológicas, ya que, por ejemplo, en un evento X que da lugar a dos taxa A y B, al aplicar estrictamente el concepto de monofilia, el taxón A no incluiría a todos los descendientes del evento B y viceversa.



El concepto de especie filogenética difiere del cladista que se expondrá a continuación por ser aplicable a cualquier nivel de la clasificación, ya que la única restricción es que sea un nivel

importante y sea reconocido como un grupo monofilético inclusivo.

#### Concepto de especie cladista

Ridley (1989), con base en el método cladista propuesto por Hennig en 1966 para la clasificación de organismos y en los trabajos de Wiley (1978) y Cracraft (1983), trata de resolver el problema introduciendo el concepto de especie cladista.

Este retoma los conceptos biológico y ecológico de especie. Hennig lo propuso para aplicarse a organismos fósiles: "el grupo de organismos entre dos eventos de especiación" que Ridley amplía y describe como "Grupo de organismos entre dos eventos de especiación, o entre un evento de especiación

y uno de extinción o de aquellos que son descendientes de un evento de especiación".

Se atribuye objetividad a esta definición, porque las especies son definidas como ramas, sin ambigüedad. De acuerdo con Ridley, este concepto se apega a la realidad y resuelve el problema teórico de la especie, sin embargo, la dificultad práctica de reconocer las especies no se resuelve y se necesita recurrir a los conceptos de especie biológica y ecológica para reconocer a las especies en el campo y, en última instancia, recurrir a los caracteres morfológicos justificados por su reproducción que mantiene a la especie como unidad.

Según Ridley (1989), el concepto de especie biológica no puede sustituir al cladista, porque subestima al proceso



**Anexo 4.** Lectura: Concepto de especie en algas.

## **Concepto de especie en algas<sup>2</sup>**

González-González (1994)

Para estudiar y comprender la diversidad de especies algales es necesario encontrar y sistematizar semejanzas y diferencias de los organismos además de entender los orígenes y significado. Las algas deben estudiarse por una parte en conjunto, como un grupo de grupos que forman una unidad ecológica y, por otra, cada división por separado como una unidad taxonómica o evolutiva constituida por especies.

Clasificar las 30 000 especies de algas con base en su parentesco implica tratar de reconstruir su historia y diferenciarlas de otras historias semejantes y/o paralelas, para conocer y distinguir las semejanzas filogenéticas de las filofenéticas. La reconstrucción de esas historias que hacen posible la diferenciación entre el parecido y el parentesco, es cada vez más accesible a medida que se mejoran las herramientas y avanza nuestro conocimiento de la taxonomía, la ecología, la biogeografía y la biología en general de las especies algales actuales.

Los ficólogos, al igual que los especialistas de otros grupos de organismos, utilizan a la especie como unidad de trabajo, independientemente de su enfoque u orientación. Un buen criterio para la definición y diferenciación de una especie, por lo menos para las algas, es tomar como base la continuidad generacional a través de la reproducción de los individuos, después hacer la caracterización de las diferentes fases de los ciclos de vida del organismo y posteriormente, definir la continuidad y potencialidad reproductiva sexual y/o asexual de las poblaciones.

Se pueden diferenciar tres tipos básicos de criterios para construir los diferentes conceptos de especie: los criterios lógicos, los ontológicos y los ideológicos, por lo que es posible hablar de los conceptos lógico, ontológico e ideológico de especie.

El concepto lógico de especie (concepto-categoría) tiene que ver con la actitud y la capacidad ordenadora del Hombre de todo suceso de diversidad que constata y es una forma de conocimiento, de apropiación y de relación con la naturaleza. Está basado siempre en criterios de jerarquización, métodos y sistemas de organización de las unidades de trabajo, es decir, en categorías taxonómicas. Es la unidad típica de trabajo en taxonomía. La especie taxonómica es una unidad discreta por definición.

El concepto ontológico (biológico) de especie (concepto-concepto) pretende describir, caracterizar y entender objetivamente la existencia y las cualidades de las entidades biológicas. La especie ontológica no puede ser una unidad discreta ya que intenta representar la manifestación de los procesos biológicos de las entidades o de diferentes unidades discretas en relación con las condiciones actuales e históricas. Lleva implícita la imposibilidad de la identidad entre los procesos ontológicos y los procesos de conocimiento. Ha sido una excelente motivación para el desarrollo tecnológico y metodológico de diferentes áreas de la biología

Por último, el concepto ideológico de especie (concepto noción) tiene que ver con las diferentes maneras de concebir y percibir el mundo y con la capacidad del hombre para conocerlo y transformarlos los criterios de

---

<sup>2</sup> González-González, J. (1994). Las algas: sistemática de un grupo filofenético. En Llorente Bousquets, J. & Luna Vega, I. (Comps). *Taxonomía Biológica* pp. 299-332. Ediciones Científicas Universitarias: serie texto científico universitario. UNAM-Fondo de Cultura Económica. México. p. 305-309.

clasificación de lo vivo no necesariamente tienen que ver con las cualidades y el concepto de vida, por lo que este concepto se maneja antropocéntricamente, con criterios utilitarios, pragmáticos y subjetivos, a veces cuestionables o polémicos pero no por ello falsos o sin importancia. Con el concepto ideológico de especie se justifica toda subjetividad, porque si bien es cierto que para la ciencia tradicional el dato objetivo tiene valor preponderante, para este concepto noción es más importante el reconocimiento de la ciencia como una actividad humana en que toda interpretación es una apreciación subjetiva de la realidad. Con base en este concepto, la búsqueda de las relaciones entre los datos y los hechos permite reconstruir los sucesos, procesos y fenómenos naturales y posibilita la interpretación y la generación de ideas y formas innovadoras de relación entre la naturaleza y el hombre, tomando en cuenta las tradiciones. Este tipo de conceptos ha sido la base de nuestra cultura y es el fundamento de nuestro conocimiento actual y futuro.

De cualquier forma, en todos los casos el concepto de especie es una discontinuidad epistemológica que pretende representar una continuidad ontológica

*Elementos para la elaboración de sus concepto complejo de especie en las algas (IOPE - Individuo, Organismo, Población y Especie).*

En términos de la sectorización de la totalidad ontológica de la diversidad biológica global en entidades discretas susceptibles de ser conocidas y transformadas en unidades de conocimiento, la manifestación concreta de un ser vivo en la naturaleza es el **individuo**, concebido como proceso transformado. Cada individuo es entonces una entidad en movimiento que se inicia con el nacimiento y termina con la muerte, pasando por diferentes etapas de su desarrollo ontológico y/o por diferentes fases de su ciclo de vida que en el caso de las algas se describen y ejemplifican más adelante. Todas estas manifestaciones diferentes entre sí mantienen una cierta unidad a partir de su cualidad de identidad-alteridad, que está definida por el contenido de su propia información genética. Cada una de las etapas de desarrollo ontogénico y las fases del ciclo está determinada por esa información.

Durante el desarrollo ontogénico, el individuo va expresando diferencialmente su acervo informativo, lo que hace que cada etapa presente diferencias morfofisiológicas en comparación con las otras y además, a partir de su propio potencial, las etapas del individuo variarán en función de las condiciones en las cuales se desarrolle. En resumen el individuo se puede definir como la unidad concreta de continuidad, acción e interacción permanente en el proceso de desarrollo ontogénico de una entidad.

En muchos seres vivos el ciclo de vida está constituido por un solo tipo de individuo, en los términos que describimos anteriormente. No obstante, existen otros muchos en los que en su ciclo de vida se presentan dos o más tipos de individuos que se distinguen, por lo menos, por tener números cromosómicos distintos, constituyendo fases diferentes, como son el gametofito y el esporofito de muchas plantas. Cada uno de estos individuos de fases diferentes tiene sus propias etapas de desarrollo y en ellas también existen unidad y cambio.

La presencia de estos individuos diferentes puede estar desfasada en tiempo y espacio y pueden, también, jugar papeles ecológicos diferentes. No obstante estas diferencias, conforman un solo ciclo de vida, el de la alternancia de generaciones y son un todo conformado por una sucesión de sucesos que se condicionan recíprocamente. Este todo constituye un **organismo**. En resumen un organismo se puede definir como una unidad abstracta de continuidad y acción y de relación entre las diferentes fases cromosómicas de un ciclo de vida. Desde luego, en algunos casos, el individuo y el organismo se consideran lo mismo porque no tienen



expresiones diferenciales.

El conjunto de individuos que presenta características semejantes y entre los cuales se establece una relación porque existe flujo e intercambio de información genética que los separa del resto de los individuos, decir, que comparten un conjunto de características genéticas, morfofisiológicas y ecológicas (patrón estructural y funcional básico). conforman una **población**. La población se puede definir como la unidad concreta de cambio y evolución.

El conjunto de etapas/fases de individuos diferentes, de poblaciones semejantes (mismo patrón estructural y funcional básico) que viven en espacios tiempos diferentes constituyen la **especie**. *La especie entonces es la unidad abstracta de cambio y evolución, porque contiene el conjunto de potencialidades y manifestaciones expresadas en espacio y tiempo.*

En consecuencia, la imposibilidad de separar estas unidades-entidades **individuo, organismo, población y especie**) en su devenir ontológico (procesos ontogénicos y filogenéticos) hace necesario establecer un concepto complejo, IOPE, que integre y relacione epistemológicamente las discontinuidades de su manifestación, y de cuenta y represente sus diferencias fenomenológicas (proceso de expresión diferencial). Individuo, organismo, población y especie, forman así una nueva unidad de conocimiento que explica a la especie como el proceso transformado complejo. Este concepto complejo, IOPE, es también una aproximación a la unidad teórica de la biología, que trata de entender explicar las manifestaciones de los seres vivos a través del proceso de autoperpetuación de la vida.

En suma, se podría decir que dicho proceso implica al individuo como un proceso ontogénico, donde tienen lugar todas las funciones vitales de la entidad (metabolismo), con sus cualidades de identidad, en la manutención de los caracteres de un patrón estructural y funcional básico (unidad) y alteridad (cambio), que se expresa como manifestación diferencial generacional del potencial genético (variación) en el organismo y la capacidad de respuesta al medio (adaptación) con su expresión genotípica diferencial histórica en la población, que se mantiene a través del tiempo en el conjunto de la especie por la reproducción (continuidad) y posibilita el establecimiento de relaciones filogenéticas, entre los diferentes patrones estructurales y funcionales existentes (diversidad).

**Anexo 5.** Formato cartel: Características de la definición compleja de especie biológica.

**Definición (de una de las características del concepto complejo de especie):** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Imagen alusiva al concepto

Anexo 6. Ejercicios: Concepto complejo de especie.

## Ejercicios sobre el concepto de especie

Nombre del estudiante: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_

Indicaciones: De acuerdo a lo reflexionado en clase, contesta las siguientes preguntas.

Define el concepto de especie tomando de referencia la definición de algún autor(a).

---

---

---

Enlista 3 características que deben contar los seres vivos para ser considerados “especie”.

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Escribe una definición compleja de especie, tomando como ejemplo el caso de las algas.

---

---

---

¿El concepto complejo de especie en algas, puede ser aplicado a otro tipo de seres vivos?  
¿por qué? Menciona un ejemplo.

---

---

---

¿Cuál es la importancia de las especies en la diversidad biológica?

---

---

---



## ESTRATEGIA DIDÁCTICA 9

Características generales de los dominios y los reinos. *Clasificación de las algas.*



### I. DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología II
SEMESTRE ESCOLAR	Cuarto Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

### II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 1. ¿Cómo se explica el origen, evolución y diversidad de los sistemas biológicos?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo:</b> Al finalizar, el alumno: Identificará los procesos que han favorecido la diversificación de los sistemas biológicos a través del análisis de las teorías que explican su origen y evolución para que comprenda que la biodiversidad es el resultado del proceso evolutivo.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos:</b> Conoce los criterios utilizados para clasificar a los sistemas biológicos en cinco reinos y tres dominios. <b>Aprendizajes operativos:</b> 1. Conoce las características de la clasificación de los seres vivos en reinos. 2. Conoce las características de la clasificación de los seres vivos en dominios. 3. Refuerza los conocimientos adquiridos identificando la clasificación de las algas entre reinos, dominios y nuevas propuestas.
TEMA(S)	Tema 3. Diversidad de los sistemas biológicos <ul style="list-style-type: none"><li>Características generales de los dominios y los reinos</li></ul>

### III. ESTRATEGIA

La aplicación de esta estrategia permite a los estudiantes conocer los criterios que se han utilizado para clasificar a los sistemas biológicos en cinco reinos de Whittaker (1969) y tres dominios de Woese (1990). Además se podrán revisar propuestas actuales como la de Keeling et al. (2009), Adl et al. (2012) y Burki (2015). Como ejemplo y para integrar los conocimientos se propone hacer una guía de clasificación de algún tipo de alga, ya que estos organismos son de los más cambiados y debatidos en términos de clasificación por su diversidad biológica.

### IV. SECUENCIA

<b>TIEMPO DIDÁCTICO</b>	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
<b>DESARROLLO Y ACTIVIDADES</b>	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)</p> <p>Los estudiantes realizan una investigación documental sobre las características de la clasificación de los seres vivos en reinos y dominios. Sus hallazgos serán escritos en sus cuadernos.</p> <p>De apertura (1 hora)</p> <p>En clase y por medio de participaciones, el profesor guiará la construcción grupal de dos cuadros comparativos, uno que refleje de las características de los seres vivos de cada reino según Whittaker 1969 y el segundo de acuerdo a los dominios de Carl Woese, 1990. Los estudiantes harán sus aportaciones de acuerdo a las investigaciones que hicieron previamente.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Los estudiantes se organizan en nueve equipos, para que cada uno de ellos trabaje con los esquemas propuestos en los anexos del 1 al 9. Se darán 10 minutos para analizar la información del esquema. Posteriormente compartirán de manera oral al resto del grupo las características de su esquema, para que entre todos puedan hacer una línea del tiempo (en el pizarrón) sobre las propuestas de clasificación de los seres vivos y resaltar los cambios. Para apoyar esta actividad el profesor puede proyectar la imagen de manera digital en el salón de clases.</p> <p>(2 horas)</p> <p>Los estudiantes se dividirán en seis equipos, para trabajar con los tres</p>

	<p>artículos recomendados (anexos 10, 11 y 12). Leerán en la primera media hora, después realizarán un cuestionario de 10 preguntas que resaltando las características principales del artículo, cuyas respuestas colocarán en otra hoja del cuaderno. Una vez terminadas las preguntas, intercambiarán su cuestionario con el otro equipo que también trabajó con el mismo cuestionario. Ahora resolverá cada equipo las preguntas de sus compañeros. Al finalizar, contrastan sus respuestas con las esperadas.</p> <p><b>Actividades de cierre:</b> (1 hora)</p> <p>Para recapitular este tema, los estudiantes elegirán una especie de alga y con ayuda de los anexos 1 al 9, seguirán su ruta de clasificación con la propuesta de los autores. Registrarán sus resultados en un esquema libre y de manera voluntaria la compartirán al grupo de manera oral y/o apoyados con el pizarrón, para dar paso a la discusión final del tema. Al finalizar el profesor leerá los datos que considere más importantes del anexo 13 sobre la clasificación de las algas de acuerdo a Lane, C. E y Archibald (2008).</p>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b>	<p>Recursos bibliográficos o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Aula-laboratorio de trabajo. Pizarrón y gises de colores o pintarrón y marcadores. Hojas blancas (de reciclado preferentemente). Proyector digital y computadora. Esquemas de trabajo correspondientes a los anexos 1 a 9:</p> <p>Anexo 1. Árbol de la vida según Haeckel (1866).</p> <p>Anexo 2. Los reinos de Robert H. Whittaker, 1969.</p> <p>Anexo 3. Dominios de Carl Woese, 1990.</p> <p>Anexo 4. Los reinos de Margulis, 1970.</p> <p>Anexo 5. The tree of eukaryotes (Keeling et al., 2005).</p> <p>Anexo 6. El árbol de la vida (Keeling et al., 2009).</p> <p>Anexo 7. Filogenia de eucariotas (Adl et al., 2012).</p> <p>Anexo 8. Revisión de la clasificación de eucariotas (Gilg, 2012).</p> <p>Anexo 9. El árbol eucariótico de la vida desde una perspectiva filogenómica global (Burki, 2015).</p> <p>Anexo 10. Artículo: López de Olmos, Y. S. (2009). El destronamiento del Reino.</p> <p>Anexo 11. Artículo: Hagen, J. B. (2012). Five Kingdoms, More or Less: Robert Whittaker and the Broad Classification of Organisms.</p> <p>Anexo 12. Artículo: Woese, C. R. y Fox, G. E. (1977). Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms.</p>

	Anexo 13. Artículo: Lane, C. E y Archibald, J. M. (2008). The eukaryotic tree of life: endosymbiosis takes its TOL.
EVALUACIÓN	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se juntaran puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b>  Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto  Actividad de inicio (apertura): cuadro comparativo grupal.....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b>  Primera actividad de desarrollo: línea del tiempo equipo-grupal.....2 puntos  Segunda actividad de desarrollo: cuestionario de artículos en equipo.....3 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b>  Actividad de cierre: ruta de clasificación de algas, individual.....3 puntos  La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.</p>

## V. REFERENCIAS DE APOYO

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.	<p>López de Olmos, Y. S. (2009). El destronamiento del Reino. Recuperado en Julio, 2019 de: <a href="http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/288_cienciorama.pdf">http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/288_cienciorama.pdf</a></p> <p>Hagen, J. B. (2012). Five Kingdoms, More or Less: Robert Whittaker and the Broad Classification of Organisms. <i>BioScience</i>, 62(1). Recuperado en Julio, 2019 de: <a href="https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/62/1/67/295711">https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/62/1/67/295711</a></p> <p>Woese, C. R. y Fox, G. E. (1977). Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms. <i>Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America</i>, 74 (11), 5088-5090.</p>
BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR	<p>Haeckel, E. (1866). <i>Generelle Morphologie der Organismen: allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von C. Darwin reformirte Decendenz-Theorie</i>. Berlin. Recuperado en Julio, 2019 de: <a href="https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/3953#/summary">https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/3953#/summary</a></p> <p>Whittaker, R. H. (1969). New concepts of kingdoms or organisms. Evolutionary relations are better represented by new classifications than by the traditional two kingdoms. <i>Science</i>, 163, 150-194. Recuperado en Julio, 2019 de: <a href="http://www.jstor.org.pbidi.unam.mx:8080/stable/1725564">http://www.jstor.org.pbidi.unam.mx:8080/stable/1725564</a></p> <p>Woese, C., Kandler, O., y Wheelis, M. (1990). Towards a Natural System of Organisms: Proposal for the Domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. <i>Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America</i>, 87(12), 4576-4579. Recuperado en Julio, 2019 de: <a href="http://www.jstor.org.pbidi.unam.mx:8080/stable/2354364">http://www.jstor.org.pbidi.unam.mx:8080/stable/2354364</a></p> <p>Margulis, L. (1970). Whittaker's five kingdoms of organisms: minor revisions suggested by considerations of the origin of mitosis. <i>Evolution</i>, 25(1), 242-245.</p> <p>Keeling, P. J., Burger, G., Durnford, D. G., Lang, B. F., Lee, R. W., Pearlman, R. E., Roger, A. J., y Gray, M.W. (2005). The tree of eukaryotes. <i>Trends in Ecology and Evolution</i>, 20(12), 670-676. Recuperado en Julio, 2019 de:</p>

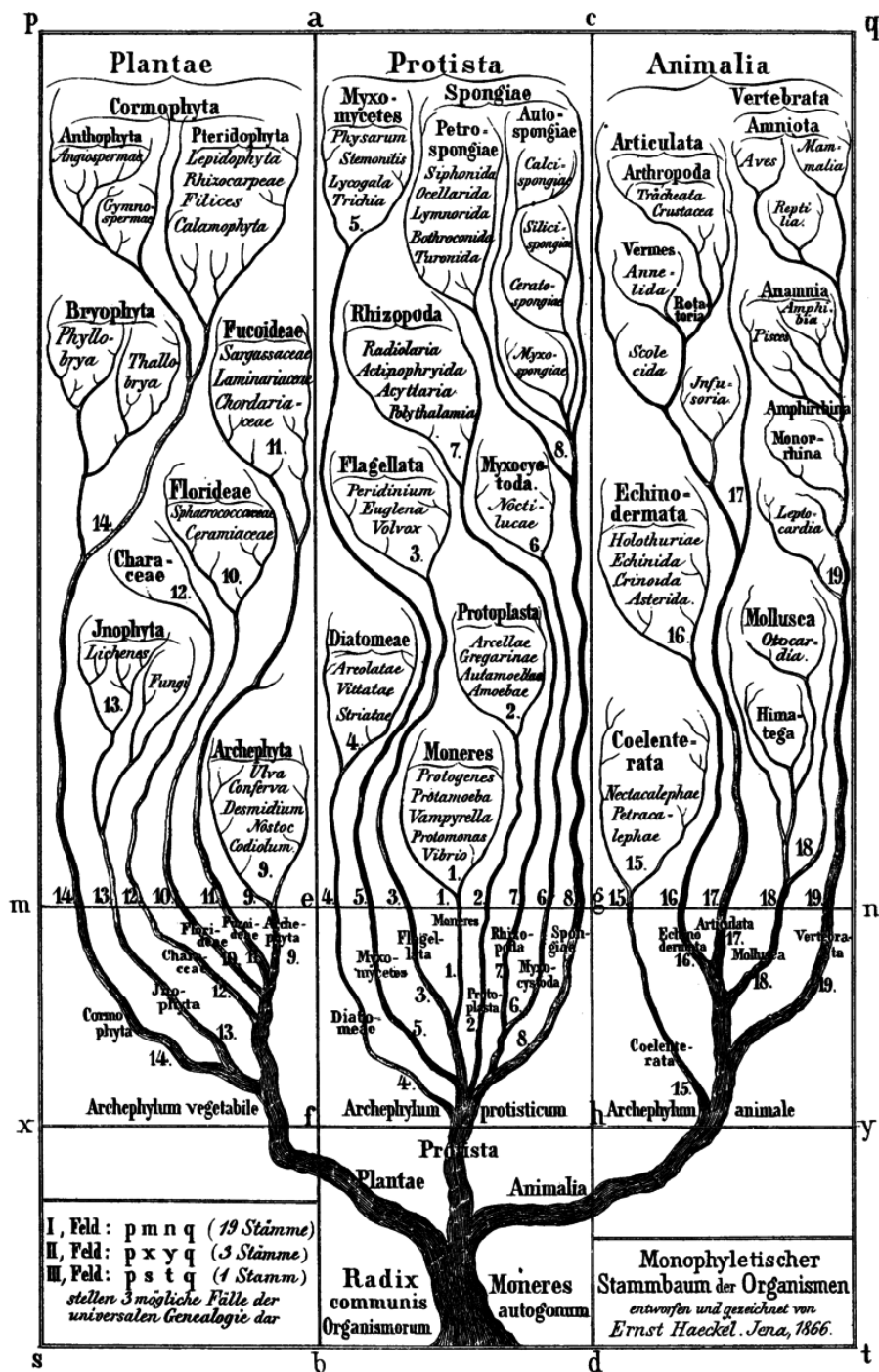
	<p><a href="http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.321.2956&amp;rep=rep1&amp;type=pdf">http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.321.2956&amp;rep=rep1&amp;type=pdf</a></p> <p>Keeling, P. J., Leander, B. S. y Simpson, A. (2009). The Tree of Life Web Project. Recuperado en Julio, 2019 de: <a href="http://tolweb.org/Eukaryotes/3/2009.10.28">http://tolweb.org/Eukaryotes/3/2009.10.28</a></p> <p>Adl, S. M., Simpson, A. G. B., Lane, C. E., Lukes, J., Bass, D., Bowser, S. S., Brown, M. W., Burki, F., Dunthorn, M., Hampl, V., Heiss, A., Hoppenrath, M., Lara, E., Gall, L. L., Lynn, D. H., Mcmanus, H., Mitchell, E. A. D., Mozley-Stanridge, S. E., Parfrey, L. W., Pawlowski, J., Rueckert, S., Shadwick L., Schoch, C. L., Smirnov, A., y Spiegel, F. W. (2012). The revised classification of Eukaryotes. <i>The Journal Eukaryotic Microbiology</i>, 59(5), 429-514. Recuperado en Marzo, 2019 de: <a href="https://ncma.bigelow.org/tree-of-life-search">https://ncma.bigelow.org/tree-of-life-search</a></p> <p>Burki, F. (2014). The Eukaryotic Tree of Life from a Global Phylogenomic Perspective. <i>Cold Spring Harbor Perspectives in Biology</i>, 6, 1-17. Recuperado en Marzo, 2019 de: <a href="http://cshperspectives.cshlp.org/">http://cshperspectives.cshlp.org/</a></p> <p>Lane, C. E y Archibald, J. M. (2008). The eukaryotic tree of life: endosymbiosis takes its TOL. <i>Trends in Ecology and Evolution</i>, 23(5), 268-275.</p>
<p><b>COMENTARIOS ADICIONALES</b></p>	<p>Es responsabilidad del docente conocer la bibliografía recomendada para los estudiantes.</p> <p>Se consideró importante recurrir a las fuentes originales, así como revisar propuestas actuales por el dinamismo de los conocimientos de la biología.</p>

## VI. ANEXOS

- Anexo 1.** Esquema: Árbol de la vida según Ernst Haeckel (1866).
- Anexo 2.** Esquema: Los reinos de Robert H. Whittaker (1969).
- Anexo 3.** Esquema: Dominios de Carl Woese (1990).
- Anexo 4.** Esquema: Los reinos de Margulis (1970).
- Anexo 5.** Esquema: The tree of eukaryotes, de Keeling et al. (2005).
- Anexo 6.** Esquema: El árbol de la vida, de Keeling et al. (2009).
- Anexo 7.** Esquema: Filogenia de eucariotas, de Adl et al. (2012).
- Anexo 8.** Esquema: Revisión de la clasificación de eucariotas, de Adl et al. (2012).
- Anexo 9.** Esquema: El árbol eucariótico de la vida desde una perspectiva filogenómica global, de Burki (2015).
- Anexo 10.** Artículo: López de Olmos, Y. S. (2009). El destronamiento del Reino.
- Anexo 11.** Artículo: Hagen, J. B. (2012). Five Kingdoms, More or Less: Robert Whittaker and the Broad Classification of Organisms.
- Anexo 12.** Artículo: Woese, C. R. y Fox, G. E. (1977). Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms.
- Anexo 13.** Artículo: Lane, C. E y Archibald, J. M. (2008). The eukaryotic tree of life: endosymbiosis takes its TOL.



Anexo 1. Árbol de la vida según Haeckel (1866).<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Haeckel, E. (1866). *Generelle Morphologie der Organismen: allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von C. Darwin reformirte Decendenz-Theorie*. Berlin. Recuperado en Julio, 2019 de: <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/3953#/summary>

Anexo 2. Los reinos de Robert H. Whittaker, 1969.<sup>2</sup>

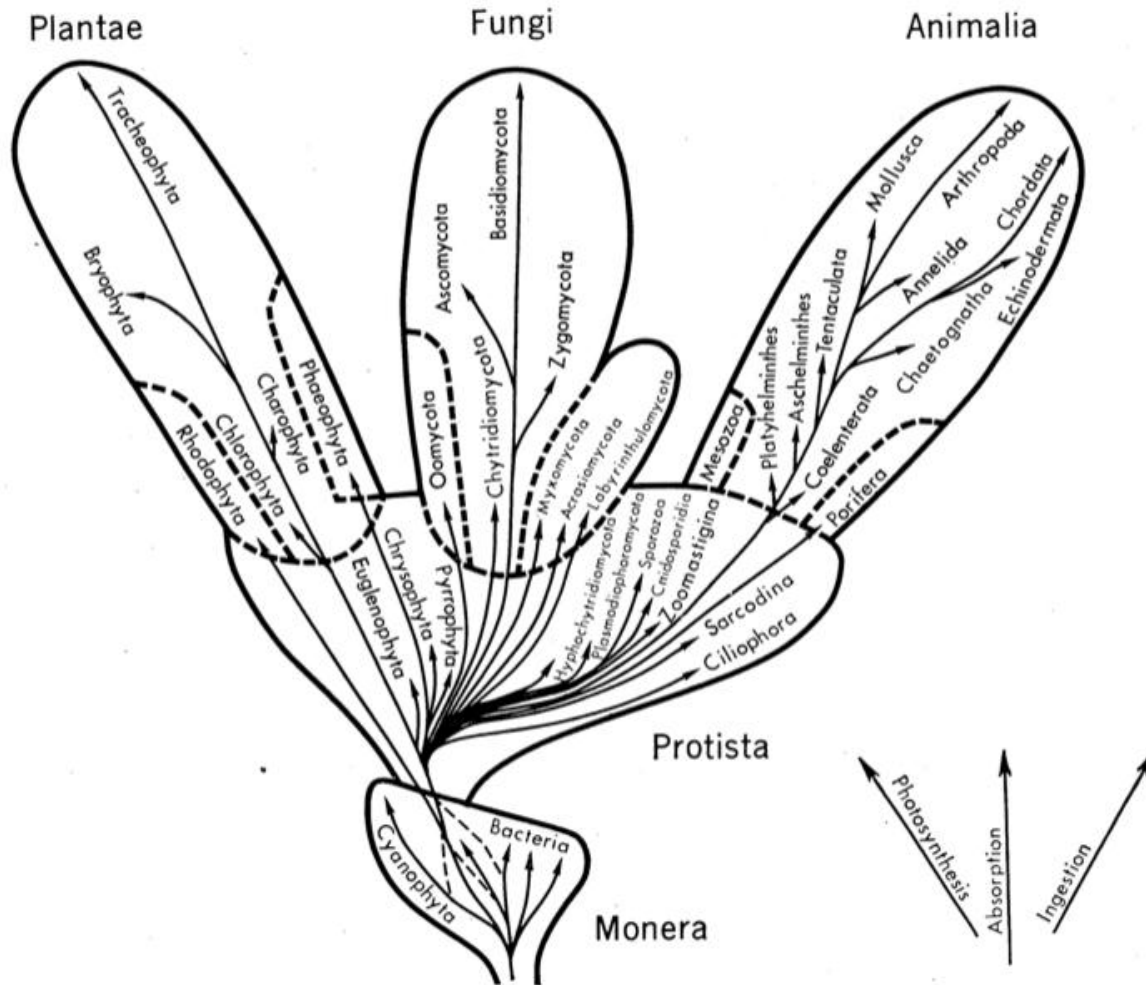


Figura 1. Un sistema de cinco reinos basado en tres niveles de organización: procariótico (reino Monera), eucariótico unicelular (reino Protista) y eucariótico multicelular y multinucleado. En cada nivel hay divergencia en relación con tres modos principales de nutrición: la fotosintética, la absorbente y la ingestiva. La nutrición ingestiva es deficiente en la Monera; y los tres modos son continuos a lo largo de numerosas líneas evolutivas en el Protista; pero en el nivel multicelular-multinucleado, los modos nutritivos conducen a los tipos de organización muy diferentes que caracterizan a los tres reinos superiores: Plantae, Fungi y Animalia. Las relaciones evolutivas son mucho más simplificadas, particularmente en el Protista. Phyla son las de la Tabla 1; pero solo se introducen los principales fillos de animales, y se omiten los fillos de las bacterias. La Coelenterata, comprende la Cnidaria y Ctenophora; Los Tentaculata comprenden los Bryozoa, Brachiopoda y Phoronida, y en algunos tratamientos los Entoprocta

<sup>2</sup> Whittaker, R. H. (1969). New concepts of kindoms or organisms. Evolutionary relations are better represented by new classifications tan by the traditional two kindoms. *Science*, 163, 150-194. Recuperado en Julio, 2019 de: <http://www.jstor.org.pbidi.unam.mx:8080/stable/1725564>

Table 1. A classification of the living world from kingdoms through phyla.

---

**Kingdom Monera (70)**

Prokaryotic cells, lacking nuclear membranes, plastids, mitochondria, and advanced (9 + 2-strand) flagella; solitary unicellular or colonial-unicellular organization (but in one group mycelial). Predominant nutritive mode absorption, but some groups are photosynthetic or chemosynthetic. Reproduction primarily asexual by fission or budding; protosexual phenomena also occur. Motile by simple flagella or gliding, or nonmotile.

- Branch Myxomonera (71). Without flagella, motility (if present) by gliding
  - Phylum Cyanophyta (72), blue-green algae
  - Phylum Myxobacteriae (72), gliding bacteria
- Branch Mastigomonera (71). Motile by simple flagella (and related nonmotile forms)
  - Phylum Eubacteriae (72), true bacteria
  - Phylum Actinomycota (72), mycelial bacteria
  - Phylum Spirochaetae (72), spirochetes

**Kingdom Protista (73)**

Primarily unicellular or colonial-unicellular organisms (but simple multinucleate organisms or stages of life cycles occur in a number of groups), with eucaryotic cells (possessing nuclear membranes, mitochondria, and in many forms plastids (9 + 2)-strand flagella, and other organelles). Nutritive modes diverse—photosynthesis, absorption, ingestion, and combinations of these. Reproductive cycles varied, but typically including both asexual division at the haploid level and true sexual processes with karyogamy and meiosis. Motile by advanced flagella or other means, or nonmotile (74).

- Phylum Euglenophyta, euglenoid organisms
- Phylum Chrysophyta, golden algae
- Phylum Pyrrophyta, dinoflagellates and cryptomonads
- Phylum Hyphochytridiomycota (75), hyphochytrids
- Phylum Plasmodiophoromycota (75), plasmodiophores
- Phylum Sporozoa, sporozoans
- Phylum Cnidosporidia, cnidosporidians
- Phylum Zoomastigina, animal flagellates
- Phylum Sarcodina, rhizopods
- Phylum Ciliophora, ciliates and suctorians

**Kingdom Plantae (76)**

Multicellular organisms with walled and frequently vacuolate eucaryotic cells and with photosynthetic pigments in plastids (together with closely related organisms which lack the pigments or are unicellular or syncytial). Principal nutritive mode photosynthesis, but a number of lines have become absorptive. Primarily nonmotile, living anchored to a substrate. Structural differentiation leading toward organs of photosynthesis, anchorage, and support, and in higher forms toward specialized photosynthetic, vascular, and covering tissues. Reproduction primarily sexual with cycles of alternating haploid and diploid generations, the former being progressively reduced toward the higher members of the kingdom.

- Subkingdom Rhodophycophyta (77). Chlorophyll a and (in some) d, with *r*-phycoerythrin and *r*-phycoerythrin also present, food storage as floridean starch, flagella lacking.
  - Phylum Rhodophyta, red algae
- Subkingdom Phaeophycophyta (77). Chlorophyll a and c, with fucoxanthin also present, food storage as laminarin and mannitol, zoospores with two lateral flagella, one of whiplash and one of tinsel type.
  - Phylum Phaeophyta, brown algae
- Subkingdom Euklorophyta (78). Chlorophyll a and b, food storage as starch within plastids, ancestral flagellation two or more anterior whiplash flagella.
  - Branch Chlorophycophyta (79). Primarily aquatic, without marked somatic cell differentiation.
    - Phylum Chlorophyta, green algae
    - Phylum Charophyta, stoneworts
  - Branch Metaphyta (80). Primarily terrestrial, with somatic cell and tissue differentiation.
    - Phylum Bryophyta (81), liverworts, hornworts, and mosses
    - Phylum Tracheophyta (82), vascular plants

---

Table 1 (continued).

---

**Kingdom Fungi (83)**

Primarily (excepting subkingdom Gymnomycota) multinucleate organisms with eucaryotic nuclei dispersed in a walled and often septate mycelial syncytium, plastids and photosynthetic pigments lacking. Nutrition absorptive. Somatic tissue differentiation absent or limited, reproductive tissue differentiation and life cycle elaboration marked in higher forms. Primarily nonmotile (but with protoplasmic flow in the mycelium), living embedded in a medium or food supply. Reproductive cycles typically including both sexual and asexual processes; mycelia mostly haploid in lower forms but dicaryotic in many higher forms.

- Subkingdom Gymnomycota (84). Deviant organizations including in life cycles separate cells, aggregations of cells, and sporulation stages.
  - Phylum Myxomycota (85), syncytial or plasmodial slime molds
  - Phylum Acrasiomycota (85), cellular or pseudoplasmodial slime molds
  - Phylum Labyrinthulomycota (85), cell-net slime molds
- Subkingdom Dimastigomycota (86). Biflagellate (heterokont) zoospores present, chytrid to simply mycelial organization, cellulose walls.
  - Phylum Oomycota (87), oosphere fungi
- Subkingdom Eumycota (88). Predominantly mycelial organization, zoospores uniflagellate if present, chitin walls, other characters as stated for kingdom.
  - Branch Opisthomastigomycota (89). Uniflagellate (opisthokont) zoospores present, chytrid to simply mycelial organization, mainly aquatic.
    - Phylum Chytridiomycota (89), true chytrids and related fungi
  - Branch Amastigomycota (90). Flagellated zoospores absent, simple to advanced mycelial organization (but secondarily unicellular in yeasts), mainly terrestrial.
    - Phylum Zygomycota (87), conjugation fungi
    - Phylum Ascomycota (87), sac fungi
    - Phylum Basidiomycota (87), club fungi

---

Tabla de Whittaker (1969). p.163-164.

**Anexo 3.** Dominios de Carl Woese et al. (1990).<sup>3</sup>

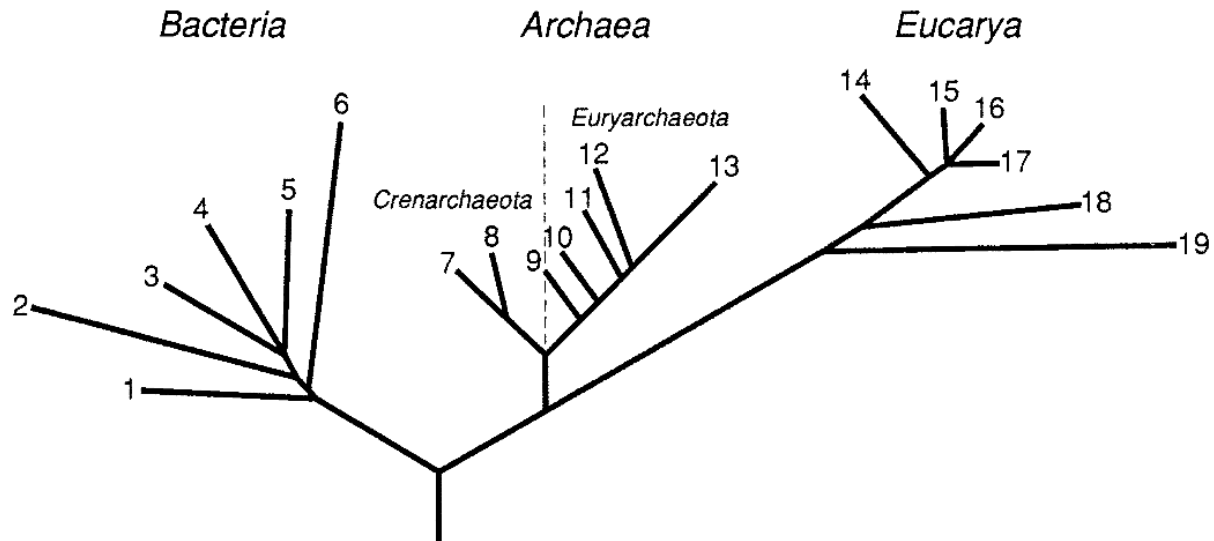


Figura 1. Árbol filogenético universal en forma de raíz, mostrando los tres dominios. El orden de ramificación y las longitudes de ramificación se basan en comparaciones de secuencias de ARNr. La posición de la raíz se determinó comparando (los pocos conocidos) secuencias de pares de genes parálogos que se separaron entre sí antes de que los tres linajes primarios emergieran de su condición ancestral común. Los números en las puntas de las ramas corresponden a los siguientes grupos de organismos. Bacterias: 1, los termotogales; 2, las flavobacterias y familiares; 3, las cianobacterias; 4, las bacterias moradas; 5, las bacterias grampositivas; y 6, las bacterias verdes sin azufre. Archae: el reino Crenarchaeota 7, el género *Pyrodictium*; y 8, el género *Thermoproteus*; y el reino Euryarchaeota: 9, los termococcales; 10, los metanococcales; 11, los metanobacteriales; 12, los metanomicrobiales; y 13, los halófilos extremos. Eucarya: 14, los animales; 15, los ciliados; 16, las plantas verdes; 17, los hongos; 18, los flagelados; y 19, la microsporidia.

<sup>3</sup> Woese, C., Kandler, O., y Wheelis, M. (1990). Towards a Natural System of Organisms: Proposal for the Domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 87(12), 4576-4579. Recuperado en Julio, 2019 de: <http://www.jstor.org.pbidi.unam.mx:8080/stable/2354364>

Anexo 4. Los reinos de Margulis, 1970.<sup>4</sup>

TABLE 1. *The Five Kingdom Classification modified after Whittaker (1969).*

Kingdom	Examples of organisms	Approximate time of evolution (millions of years ago)	Major traits that environmental selection pressures acted on to produce	Major significant selective factor in the environment
Monera	All prokaryotes: bacteria, blue green algae, mycelial bacteria, gliding bacteria, and so forth	Early-Middle Precambrian (3000-1000)	uv photoprotection, photosynthesis and aerobiosis	solar radiation, increasing atmospheric oxygen concentration
Protista	All eukaryotic algae: green, yellow-green, red and brown, and golden-yellow; all protozoans, flagellated fungi, slime molds and so forth	Late Precambrian Early Paleozoic (1500-500)	classical mitosis and meiosis: obligate recombination each generation; more efficient nutrition	depletion of organic nutrients
Animalia	Metazoa: all animals developing from blastulas	Phanerozoic (700 on)	tissue development for heterotrophic specializations: ingestive nutrition	transitions from aquatic to terrestrial and aerial environments
Plantae	Metaphyta: all green plants (above green algae)	Phanerozoic (700 on)	tissue development for autotrophic specializations: photosynthetic nutrition	transitions from aquatic to terrestrial environments
Fungi	Amastigomycota: conjugation fungi, sac fungi, club fungi, yeasts	Phanerozoic (700 on)	tissue development, dikaryotic, advanced mycelial development: absorptive nutrition	nature of nutrient source, transitions from aquatic to terrestrial environments

<sup>4</sup> Margulis, L. (1970). Whittaker's five kingdoms of organisms: minor revisions suggested by considerations of the origin of mitosis. *Evolution*, 25(1), 242-245..



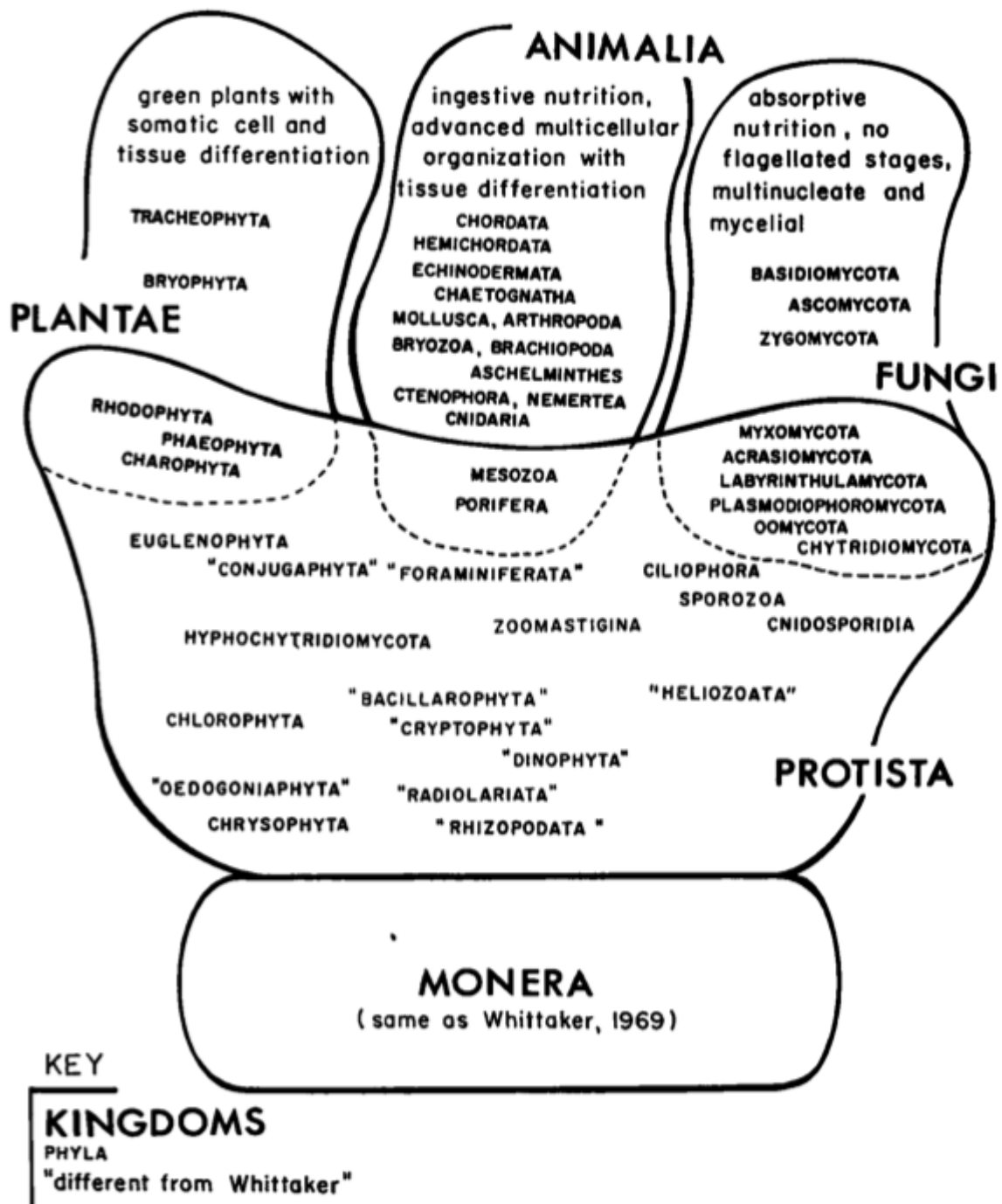
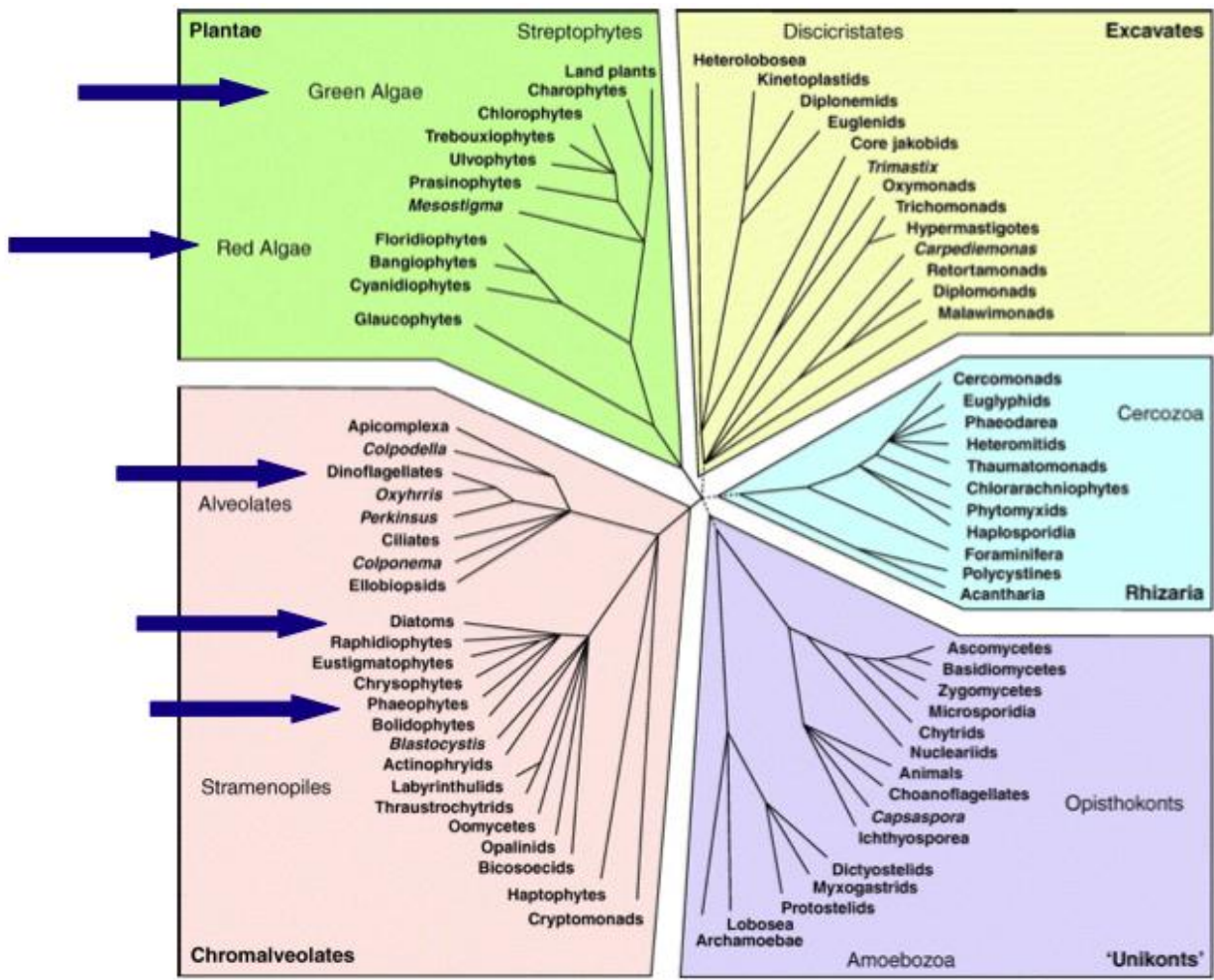


Figura 2. Modificaciones del Esquema de Five Kingdom de Whittaker (1969, su Fig. 3) basado en la filogenia protista. (Margulis, 1970).

Anexo 5. The tree of eukaryotes (Keeling et al., 2005).<sup>5</sup>

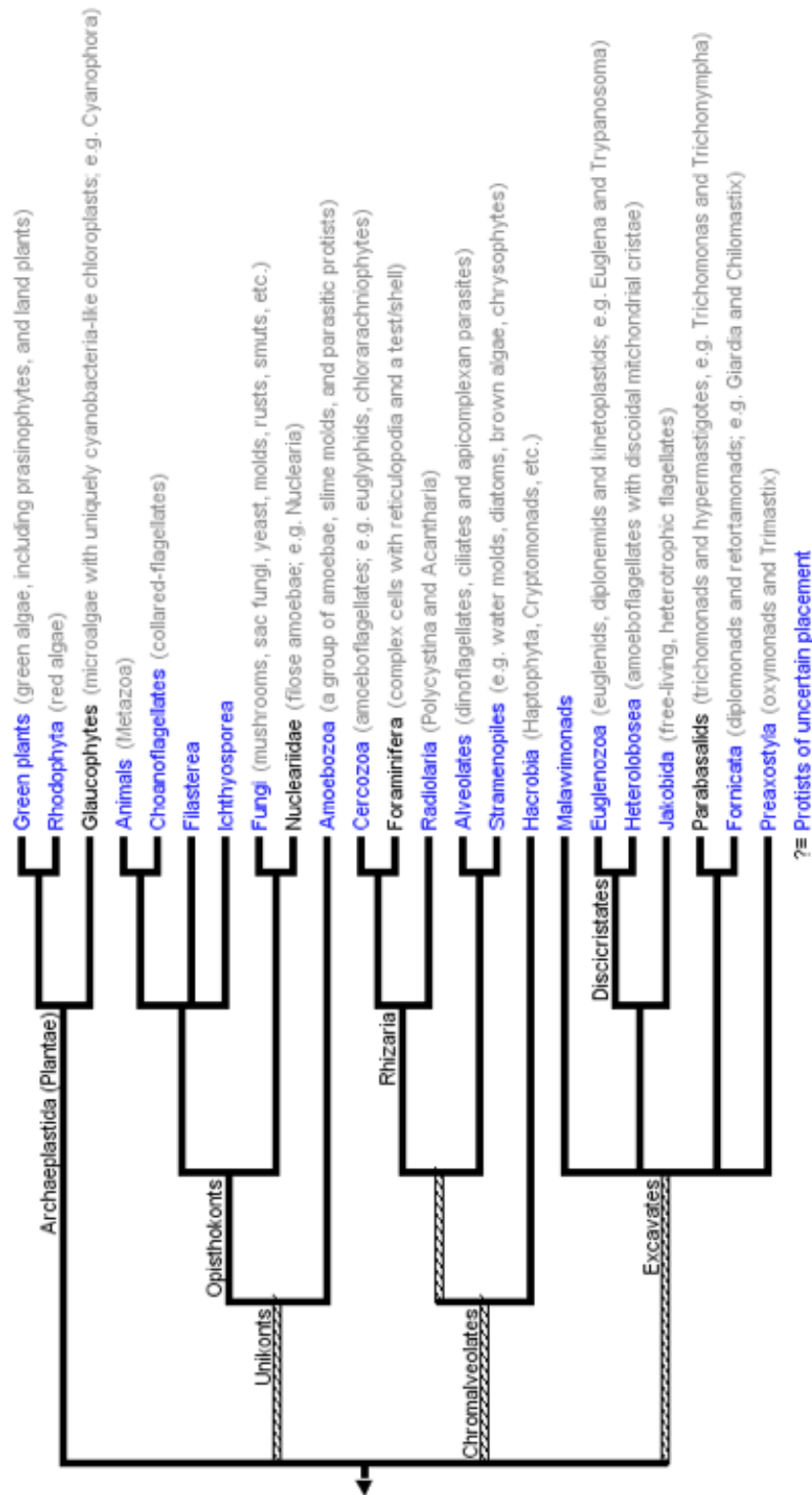


TRENDS in Ecology & Evolution

<sup>5</sup> Keeling, P. J., Burger, G., Durnford, D. G., Lang, B. F., Lee, R. W., Pearlman, R. E., Roger, A. J., y Gray, M.W. (2005). The tree of eukaryotes. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(12), 670-676. Recuperado en Julio, 2019 de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.321.2956&rep=rep1&type=pdf>

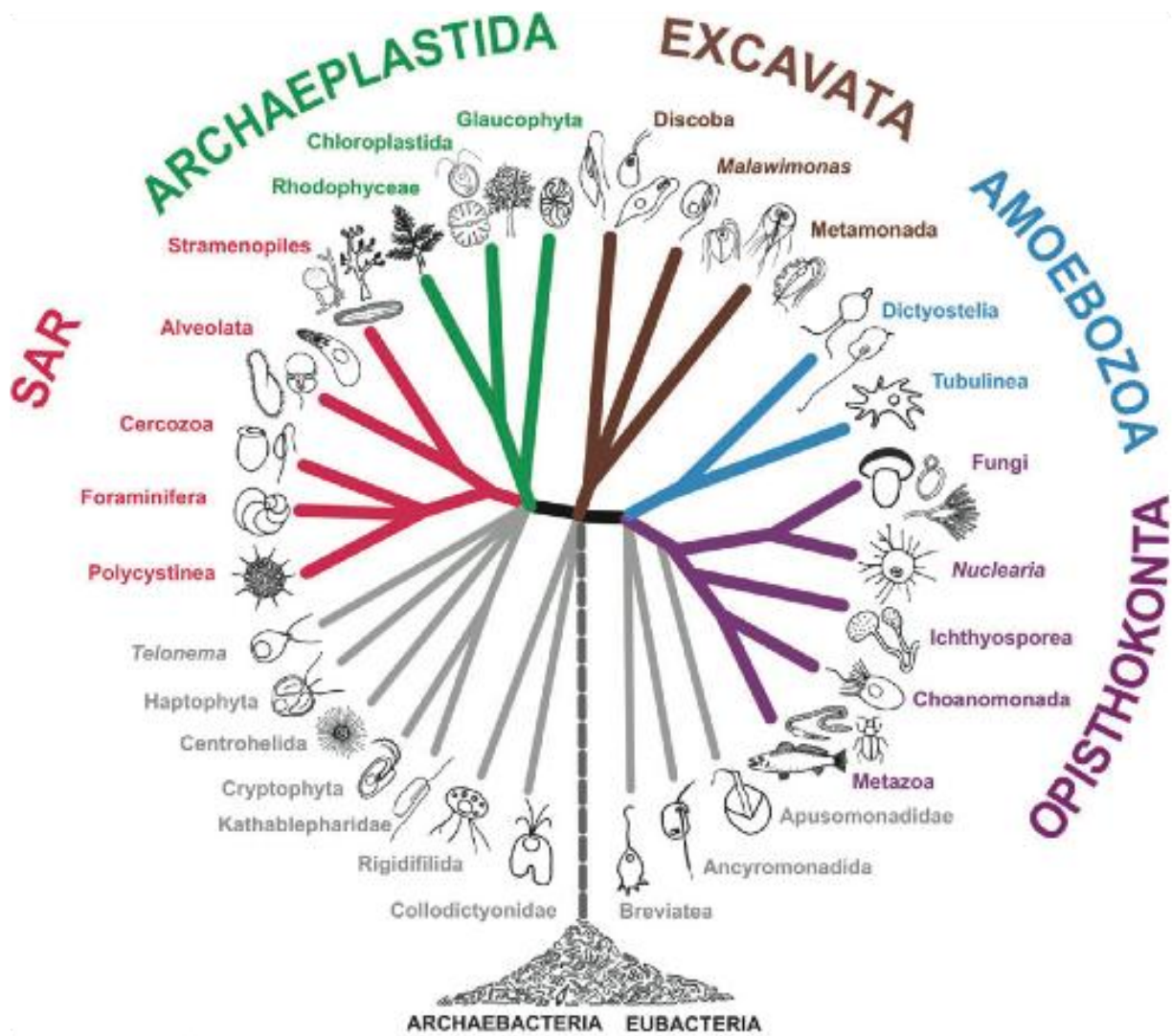


**Anexo 6.** El árbol de la vida (Keeling et al., 2009).<sup>6</sup>



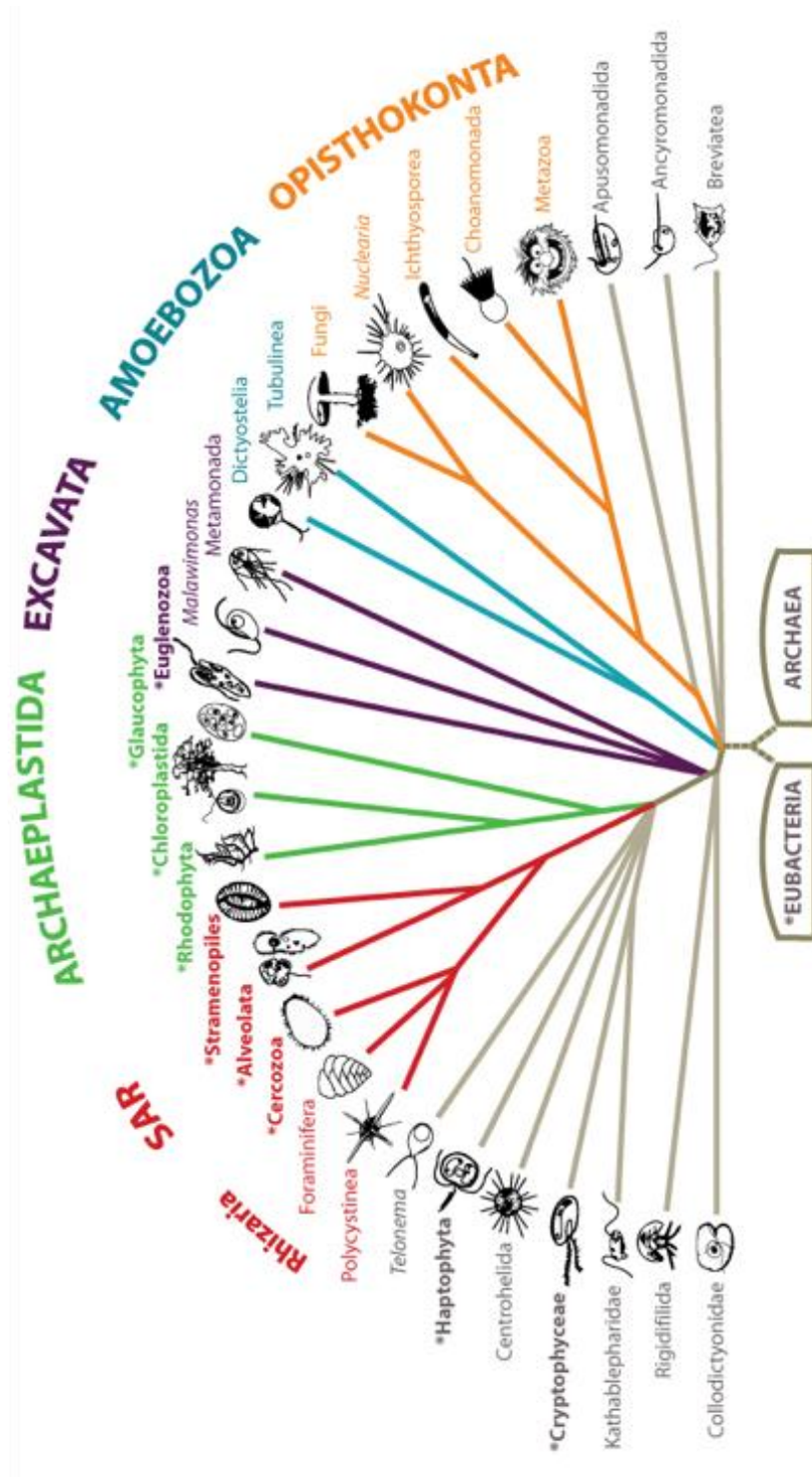
<sup>6</sup> Keeling, P. J., Leander, B. S. y Simpson, A. (2009). The Tree of Life Web Project. Recuperado en Julio, 2019 de: <http://tolweb.org/Eukaryotes/3/2009.10.28>

Anexo 7. Filogenia de eucariotas (Adl et al., 2012).<sup>7</sup>



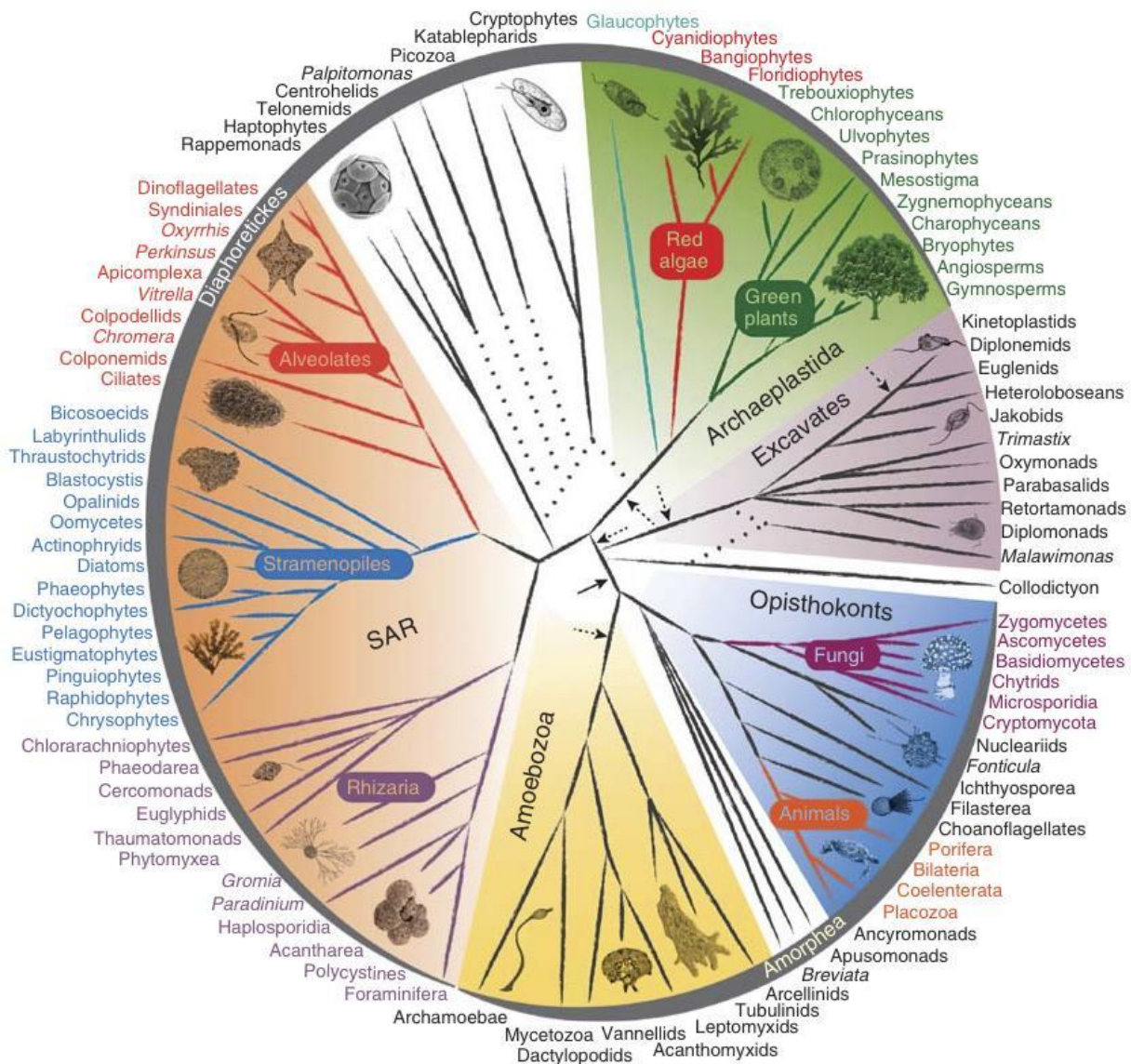
<sup>7</sup> Adl, S. M., Simpson, A. G. B., Lane, C. E., Lukes, J., Bass, D., Bowser, S. S., Brown, M. W., Burki, F., Dunthorn, M., Hampl, V., Heiss, A., Hoppenrath, M., Lara, E., Gall, L. L., Lynn, D. H., Mcmanus, H., Mitchell, E. A. D., Mozley-Stanridge, S. E., Parfrey, L. W., Pawlowski, J., Rueckert, S., Shadwick L., Schoch, C. L., Smirnov, A., y Spiegel, F. W. (2012). The Revised classification of Eukaryotes. *The journal Eukaryotic Microbiology.*, 59(5). p. 432.

Anexo 8. Revisión de la clasificación de eucariotas de Adl et al., 2012.  
 Adaptado por Ilana Gilg 2012.<sup>8</sup>



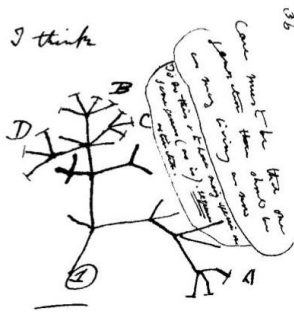
<sup>8</sup> Gilg, I. (2012). Revisión de Adl et al., 2012. The Revised classification of Eukaryotes. *The Journal Eukaryotic Microbiology*, 59(5). p. 432. Recuperado en Marzo, 2019 de: <https://ncma.bigelow.org/tree-of-life-search>

**Anexo 9.** El árbol eucariótico de la vida desde una perspectiva filogenómica global (Burki, 2014).<sup>9</sup>



<sup>9</sup> Burki, F. (2014). The Eukaryotic Tree of Life from a Global Phylogenomic Perspective. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 6, 1-17. Recuperado en Marzo, 2019 de: <http://cshperspectives.cshlp.org/>

# Anexo 10. Artículo: López de Olmos, Y. S. (2009). El destronamiento del Reino. <sup>10</sup>



## El destronamiento del Reino

Yasser Said López de Olmos Reyes

En una nota anterior titulada "Cinco reinos", Luci Cruz Wilson nos expone el desarrollo, a grandes rasgos, de la clasificación taxonómica desde sus inicios menos formales hasta la actualidad, centrándose en la clasificación de 1969 de los cinco reinos de Whittaker: Monera, Protista, Animalia, Plantae y Fungi. Ciertamente esta idea de clasificación tenía raíces milenarias, pero había sido ajustada muchas veces tras observaciones cada vez más puntuales que la ciencia y la tecnología permitían hacer, prueba

El destronamiento del Reino / CIENCORAMA 1

- Reino
- Clase
- Orden
- Género
- Especie

En este mismo libro se menciona la existencia de dos reinos biológicos, a casi dos mil años de Aristóteles. Para el siglo XX, con Whittaker, el número de reinos ascendió a cinco, pero también ocurrieron otros cambios, se incluyeron otras categorías taxonómicas y no sólo se extendió el número de reinos, sino que dentro de las categorías de menor jerarquía creció el número de grupos de organismos al ir avanzando la ciencia de la Taxonomía, incluso se recurrió al uso de subcategorías o categorías intermedias como el Superorden, dada la complejidad de los grupos de seres vivos que se estudiaban. Para el siglo XX las categorías taxonómicas eran:

- Reino
- Phylum o División
- Clase
- Orden
- Familia
- Género
- Especie

El destronamiento del Reino / CIENCORAMA 3

de esto es el desarrollo desde los dos reinos de Aristóteles, pasando por tres, cuatro reinos, hasta los cinco propuestos por Whittaker.

Sin embargo, desde la aparición del Reino Protista, la crítica más constante a la idea de los reinos provenía del origen polifilético de este grupo de organismos; es decir, el Reino Protista siempre ha incluido grupos de organismos que evolucionaron siguiendo líneas separadas de relaciones ancestro-descendiente y que de alguna manera convergen en la actualidad porque poseen características en común. A nadie le extraña que los hermanos y primos se parezcan a sus padres, tíos y abuelos, pero es un poco extraño cuando una familia se parece mucho a otra y no tiene ninguna relación familiar con la primera: bueno, a muchos biólogos les pareció así de extraña la idea de un Reino que contuviera a todos los protistas y así lo criticaron. No obstante, la historia siguió otro camino que había permanecido oculto a los ojos de los investigadores y que hizo ver lo pequeños que eran estos problemas comparados con los que deparaba el descubrimiento de Carl Woese.

### La consolidación del Reino

Aunque la designación de la palabra "Reino" para denotar a un conjunto de entes comunes proviene desde Aristóteles y la Antigua Grecia, la formalización del sistema actual de clasificación taxonómica corrió a cargo de Linneo en el siglo XVIII. Linneo propuso que las especies podían clasificarse en un sistema de categorías jerarquizadas, en las que las categorías de menor grado constituirían a las de mayor grado, y en su histórico libro: *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*, establece que estas categorías son, en una jerarquía descendente:

El destronamiento del Reino / CIENCORAMA 2

El Reino estaba consolidado como la categoría taxonómica de mayor jerarquía y el desarrollo científico de los dos siglos posteriores a Linneo no parecían suficientes para cambiar esta situación.

### El ascenso del Dominio

En 1977, Carl Woese y George E. Fox, de la Universidad de Illinois, con un artículo de apenas tres páginas titulado "Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms" (Estructura filogenética del dominio procariótico: Los reinos primarios), cambiaron para siempre la manera en que la ciencia catalogaba la diversidad biológica; gracias a estos análisis comparativos de la información genética de diversos organismos se fundó la sistemática molecular.

El descubrimiento de Woese y Fox resulta ser simple: la clasificación de los cinco reinos de Whittaker no se sostiene desde el punto de vista genético; a cambio, habría que dividir la totalidad de los seres vivos existentes en tres grandes grupos. Woese y Fox demuestran que el Reino Monera abarca a dos grupos de organismos que muy poco se parecen, mientras que los otros cuatro reinos se parecen muchísimo entre sí. Entonces, afirman la existencia de un grupo de seres vivos más allá de la categoría de Reino, un "superreino" (*urkingdom*, en inglés) al que propusieron llamar Archaeabacteria.

El trabajo de 1977 de Woese y Fox tuvo que ser discutido y enriquecido por la comunidad científica y 13 años después Woese, Kandler y Willis habían preparado al fin una propuesta de clasificación de toda la diversidad biológica en tres Dominios en un artículo titulado "Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya" (*Hacia un sistema natural de organismos: propuesta para los*

El destronamiento del Reino / CIENCORAMA 4

<sup>10</sup> López de Olmos, Y. S. (2009). El destronamiento del Reino. Recuperado en Julio, 2019 de: [http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/288\\_cienciorama.pdf](http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/288_cienciorama.pdf)

dominios **Archaea**, **Bacteria** y **Eucarya**, las negritas son mías). En este trabajo ya se deja de lado la utilización de la palabra "superreino" (Urkingdom) y se propone el uso de la palabra "Dominio" (Domain).

Los dominios están caracterizados como sigue:

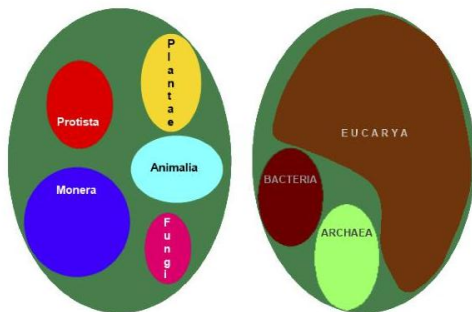
- **Bacteria:** Organismos microscópicos y generalmente unicelulares con una estructura relativamente sencilla, carente de núcleo celular (procariotas) y organelos de doble membrana. Cuando tienen, la pared celular está compuesta por peptidoglucano, algo similar ocurre con los cilios y flagelos, organelos para la locomoción presentes en los tres dominios, pero químicamente distintos en cada grupo. Son los organismos más abundantes del planeta y se encuentran prácticamente en cualquier medio.
- **Archaea:** Las arqueas tienen una estructura similar a las bacterias, son procariotas. Poseen características bioquímicas muy diferentes y se distinguen de las bacterias en la composición de la pared celular carente de peptidoglucano y compuesta por glicoproteínas y polisacáridos; también existen marcadas diferencias en los procesos de transcripción y traducción, en su metabolismo y en su hábito de vivir en ambientes extremos (por ejemplo, lugares con temperaturas muy altas).
- **Eucarya:** También llamados eucariotas o eucariontes. Son organismos con células que poseen un núcleo definido en el que se resguarda el ADN. Incluye a los animales, las plantas, los hongos y los protistas, los primeros tres típicamente pluricelulares. Su pared celular, ausente en animales, se compone por celulosa o quitina. Se piensa que todos los eucariontes poseen un origen común y comparten con las arqueas algunos aspectos de la transcripción y traducción.

El destronamiento del Reino / CIENCIORAMA 5

construyendo en congresos y simposios desde los años noventa llamado "BioCode: the prospective international rules for the scientific names of organisms" (BioCode: las reglas internacionales prospectivas para los nombres científicos de los organismos, traducido del inglés), disponible en la página web de la Universidad Libre de Berlín, se considera el uso de la categoría de Dominio y se estipula expresamente que es una categoría superior al Reino.

#### Incompatibilidad de los tres dominios con el sistema de cinco reinos

En términos de conjuntos, los sistemas de cinco reinos y el de tres dominios se verían respectivamente así:



Representaciones como conjuntos de los sistemas de clasificación de los cinco reinos de Whittaker y de los tres Dominios de Woese.

El destronamiento del Reino / CIENCIORAMA 7

El impacto de los artículos de Woese y colaboradores comenzó a difundirse en la comunidad científica mundial, a tal grado que apenas unos años después de su publicación, comenzó a hablarse del Dominio como la categoría taxonómica de mayor jerarquía, seguida por el Reino, que supuestamente había sido destronado, quedando las categorías taxonómicas actualmente como:

Dominio  
Reino  
Phylum o División  
Clase  
Orden  
Familia  
Género

#### Especie

Aunque se acepta generalmente que el Dominio es la mayor de las categorías taxonómicas existentes en la actualidad, las publicaciones donde se plasman los acuerdos de los expertos asistentes a congresos internacionales especializados, que ponen las reglas para nombrar a las especies, es decir, el *Código Internacional de Nomenclatura de Bacterias*, el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica y el Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas (antes denominado Código Internacional de Nomenclatura Botánica) no han actualizado sus ediciones para considerar esta situación.

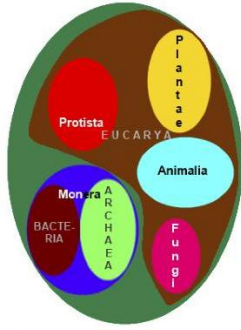
Un grupo internacional de reconocidos taxónomos trabaja en una "Nomenclatura Biológica para el Siglo XXI", en un borrador que han estado

El destronamiento del Reino / CIENCIORAMA 6

Aunque la categoría del Reino no es reemplazada por la del Dominio, sí aparece debajo en la jerarquía y esto implica una serie de problemas que por los principios de la clasificación taxonómica, requiere de la atención de los especialistas. Probablemente la dificultad más seria sea el principio de inclusión, las categorías de menor jerarquía deben estar todas incluidas en una o varias categorías de mayor jerarquía. Las categorías inferiores separan a los organismos en grupos más pequeños que las superiores y sirven para distinguir conjuntos de organismos de otros, de una manera más puntual.

En suma, el problema de la inclusión entre estos métodos es que un Reino no puede contener organismos de más de un Dominio, si tratáramos de forzar esta compatibilidad, tal y como los sistemas se postularon encontraríamos un error lógico, ya que el Reino Monera estaría conteniendo por sí mismo a dos dominios, y esto viola el principio de inclusión:

El destronamiento del Reino / CIENCIORAMA 8



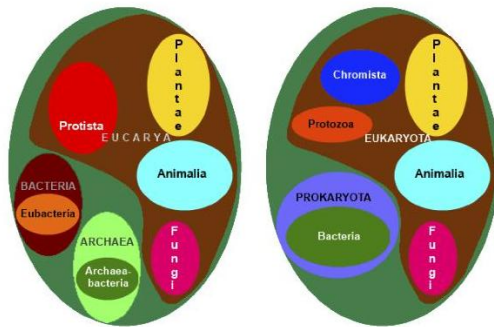
Representación lógica de la incompatibilidad entre los sistemas de Whittaker y Woese. Nótese el uso de mayúsculas para nombrar dominios y minúsculas para reinos.

### Propuestas actuales de clasificación

En su texto de 1990 Woese y colaboradores escribían que habían encontrado el principio de un sistema de clasificación natural; no conformes con la propuesta principal tenían una propuesta secundaria que consistía en la creación de dos reinos para el dominio Archaea: Euryarchaeota y Crenarchaeota. Más aún, esperaban que todos los *phyla* del Dominio Bacteria pasarían a ser reinos y que por otro lado algunas cosas no cambiarían drásticamente, como los reinos Plantae y Animalia, pero pregonaban que los demás reinos, sobre todo el Protista, a la luz de sus modernas metodologías, podría dividirse en varios nuevos reinos.

Las investigaciones posteriores a Woese y las opiniones de eminentes científicos como Cavalier-Smith, Mayr y Lynn Margulis nos describen un

El destronamiento del Reino / CIENCIORAMA 9



Comparación de dos sistemas de 6 reinos, el primero propuesto con base en los trabajos de Woese, el segundo derivado de los trabajos de Cavalier-Smith.

En ninguna de estas propuestas el Reino permanece como la categoría taxonómica de mayor jerarquía pero sigue siendo de gran utilidad para distinguir y enseñar temas de diversidad biológica. ¿Qué sistema usaremos en el siglo XXI y por cuánto tiempo?

El destronamiento del Reino / CIENCIORAMA 11

contexto de discusión desde la base misma del árbol de la vida. Por una parte, se discute el origen de los eucariotes y por otra cómo deberían ser clasificados los organismos en las categorías taxonómicas más altas, es decir, ¿estamos hablando de Reinos, Superreinos, Imperios o Dominios?

Las predicciones de Woese y colaboradores sobre los reinos que habrían de emerger y los que proponían, sólo se cumplieron parcialmente. Las propuestas actuales más influyentes son las que toman como base los trabajos de Woese y las propuestas de Cavalier-Smith, quien desestima el sistema de tres dominios y aboga por el de dos imperios correspondientes a procariotas y eucariotas; además plantea la división del Reino Protista en Reino Chromista y Reino Protozoa.

Como una conclusión un tanto flotante para un tema que está lejos de haberse agotado, se presentan dos propuestas actuales para un sistema de seis reinos, considerando este número como la solución más simple para los hallazgos sistemáticos más recientes: una derivada de los trabajos de Carl Woese y una propuesta de Cavalier-Smith en la que divide al Reino Protista en Reino Protozoa y Reino Chromista. Sólo habría que agregar que la primera es preferida en los programas de estudio de Biología actuales, ninguna ha sido descartada del todo.

El destronamiento del Reino / CIENCIORAMA 10

### Bibliografía

- Case, E. (2008). Teaching Taxonomy: How Many Kingdoms? *The American Biology Teacher*, 70(8), 472-477.
- Maddison, D. R. & Schulz, K.-S. (2007). Tree of Life Web Project. Recuperado 9 de junio de 2013, a partir de <http://tolweb.org/tree/>
- Cruz-Wilson, L. (2005). Cinco reinos. *Cienciorama*. Recuperado 19 de mayo de 2013, a partir de [http://www.cienciorama.ccadet.unam.mx/articulos\\_extensos/140\\_extenso.pdf](http://www.cienciorama.ccadet.unam.mx/articulos_extensos/140_extenso.pdf)
- Blackwell, W. H. (2004). Is It Kingdoms or Domains? Confusion & Solutions. *The American Biology Teacher*, 68(4), 268-276. doi:10.2307/4451669
- Cavalier-Smith, T. (2004). Only six kingdoms of life. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, 271(1545), 1251-1262.
- Estrada, L. (2002). Microsoft Word - 02-06-2004.docx - 192\_extenso.pdf. *Cienciorama*. Recuperado 7 de junio de 2013, a partir de [http://www.cienciorama.ccadet.unam.mx/articulos\\_extensos/192\\_extenso.pdf](http://www.cienciorama.ccadet.unam.mx/articulos_extensos/192_extenso.pdf)
- Cavalier-Smith, T. (1998). A revised six-kingdom system of life. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 73(3), 203-266.
- Woese, C. R., Kandler, O. & Wheelis, M. L. (1990). Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87(12), 4576-4579.
- Woese, Carl R. & Fox, G. E. (1977). Phylogenetic Structure of the Prokaryotic Domain: The Primary Kingdoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 74(11), 5088-5090.

El destronamiento del Reino / CIENCIORAMA 12

# Five Kingdoms, More or Less: Robert Whittaker and the Broad Classification of Organisms

JOEL B. HAGEN

*Robert Whittaker's five-kingdom system was a standard feature of biology textbooks during the last two decades of the twentieth century. Even as its popularity began to wane at the end of the century, vestiges of Whittaker's thinking continued to be found in most textbook accounts of biodiversity. Whittaker's early thinking about kingdoms was strongly shaped by his ecological research, but later versions were also heavily influenced by concepts in cell biology. This historical episode provides insights into important intellectual, institutional, and social changes in biology after World War II. Consideration of the history of Whittaker's contributions to the classification of kingdoms also sheds light on the impact of Cold War politics on science education and educational reforms that continue to shape the presentation of biological topics in introductory textbooks today.*

*Keywords: cell biology, ecology, taxonomy, history, evolution*

**D**uring the late twentieth century, Robert Whittaker's five-kingdom system was a standard feature of biology textbooks, serving as an important organizing scheme for discussing biodiversity. Even as its popularity waned at the end of the century, vestiges of Whittaker's thinking continued to be found in textbooks. Beginning with the germ of an idea in 1957, Whittaker significantly revised his concept in a series of articles published during the subsequent decade. He started with a three-kingdom system that challenged the traditional plant–animal dichotomy, quickly proposed an alternative four-kingdom system, and arrived at his well-known five-kingdom system only after a decade of critical reflection. At last, Whittaker had crafted a system that biologists and educators found attractive because it seemed to capture fundamental properties of living organisms. At its roots, the five-kingdom system was an ecological idea, but Whittaker increasingly relied on cell biology—particularly, the distinction between prokaryotes and eukaryotes—as a central organizing principle for later versions of his system. Thus, the five-kingdom system reflected important intellectual developments in biology during the post–World War II era. Equally important, the success of Whittaker's system owed much to changes in the institutional structure of biology and in science education during the Cold War. Although some of Whittaker's ideas eventually fell victim to molecular systematics, cladistics, and other recent biological developments, the persistence of his system testifies to its broad appeal.

## Whittaker's classification of communities and kingdoms

Robert Whittaker (1920–1980) was one of the most influential modern ecologists and made important contributions to a wide range of fields (Westman and Peet 1985). Although the five-kingdom system was only a minor part of his work, it reflected two of Whittaker's fundamental interests. The first was the structure and function of communities and ecosystems. Whittaker's early research on biogeochemical cycles was focused on trophic levels, which provided the initial idea for his kingdom system. The second interest was what Whittaker referred to as “broad classification”—classifying communities and kingdoms in a rigorous way (Whittaker 1948, 1959, 1962, 1972, 1978).

Early in his career, Whittaker became known as one of the critics responsible for overthrowing Frederic Clements' idea that plant communities are highly organized systems comparable to organisms (Westman and Peet 1985, Nicolson and McIntosh 2002, Kohler 2008). Clements' organismic idea implied that the boundaries between communities were quite sharp and well defined, but Whittaker's dissertation on the vegetation of the Smoky Mountains demonstrated that populations and communities were independently scattered along environmental gradients (Whittaker 1948, 1956). Ecotones between communities were usually gradual and ill defined. In his dissertation, Whittaker struggled with his research's implications for classifying communities. The philosophical position that he took was a form of

*BioScience* 62: 67–74. ISSN 0006-3568, electronic ISSN 1525-3244. © 2012 by American Institute of Biological Sciences. All rights reserved. Request permission to photocopy or reproduce article content at the University of California Press's Rights and Permissions Web site at [www.ucpressjournals.com/reprintinfo.asp](http://www.ucpressjournals.com/reprintinfo.asp). doi:10.1525/bio.2012.62.1.11

[www.biosciencemag.org](http://www.biosciencemag.org)

January 2012 / Vol. 62 No. 1 • *BioScience* 67

Downloaded from <https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/62/1/67/295711> by guest on 24 July 2019

<sup>11</sup> Hagen, J. B. (2012). Five Kingdoms, More or Less: Robert Whittaker and the Broad Classification of Organisms. *BioScience*, 62(1). Recuperado en Julio, 2019 de: <https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/62/1/67/295711>



nominalism. Although he believed that populations and species were real, Whittaker argued that communities had only a “low degree of reality” (pp. 168–170); indeed, they were simply names applied by ecologists to areas with similar vegetation (Whittaker 1948). In the field, the ecologist was faced by a multitude of plant populations with broadly overlapping distributions. The task for the ecologist was to analyze these distributions and then impose subdivisions on what was, in fact, a continuum (Whittaker 1948).

The tension between the belief that species are distributed independently and the necessity of classifying vegetation into a coherent system provided a creative spark that drove much of Whittaker’s later research (Whittaker 1962, 1972, 1978). Although he acknowledged that classifying vegetation always involved a large degree of subjectivity, he hoped that the methods employed by ecologists could be rigorously objective. Achieving this goal led Whittaker to develop mathematically sophisticated methods of ordination (Whittaker 1978) but also to develop simple graphical approaches illustrating how the broad pattern of plant communities could be explained in terms of a few climatic variables (figure 1). Although he was quick to point out that numerous exceptions occurred and that community boundaries could never be precisely predicted by temperature or rainfall, Whittaker claimed that his mosaic diagrams captured the “broad relations of natural communities” (Whittaker 1970, pp. 64–65; also see Whittaker 1948, 1956). Modified versions of these graphical representations became

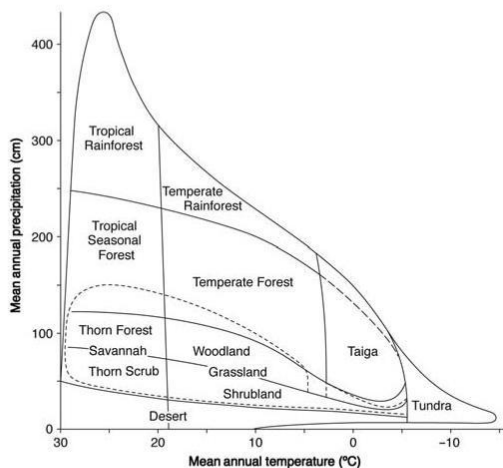


Figure 1. Diagram depicting major types of plant communities in relation to temperature and precipitation (in centimeters [cm]). The dotted lines enclose environments where several different community types might exist, depending on variables other than temperature and precipitation. Source: Figure illustrated by John Norton, adapted from Whittaker (1970).

standard features in biology and ecology textbooks. Whittaker employed similar diagrams to represent the relationships among kingdoms. Using the two axes of mode of nutrition and cellular organization, Whittaker was able to present a conceptual map of the broad contours of the living world (figure 2). The important point that needs to be stressed is that although Whittaker was drawn into taxonomic controversies over kingdom classifications, his early and enduring ideas about classification were strongly shaped by his experiences studying plant communities as a graduate student.

**Biology during the Cold War**

By coincidence, Whittaker (1957) published his first article on kingdoms just a few months before the launch of Sputnik 1, but the success of the five-kingdom system owed much to the Cold War context within which it was created. Biologists eagerly turned to large-scale funding from the National Science Foundation, the Atomic Energy Commission, and other post-World War II federal agencies to support new areas of research. Partly as a result, traditional taxonomy and natural history became marginalized. E. O. Wilson later noted that during the 1960s, “biology spun through a ninety-degree turn in its approaches to life” (p. 225) as many biologists turned away from studying whole organisms and biodiversity in order to focus on cells and molecules (Wilson 2006). This trend away from traditional botany and zoology was evident not only in the rise

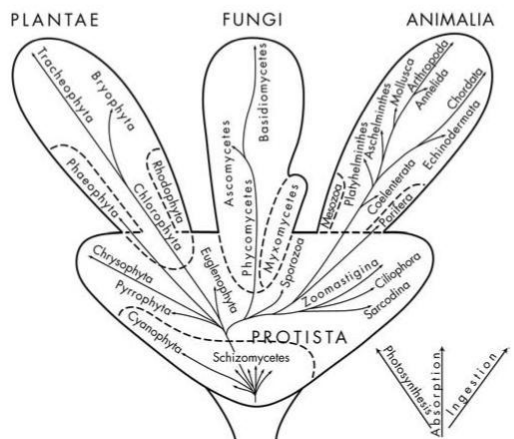


Figure 2. Whittaker’s early four-kingdom system, based on three modes of nutrition and the distinction between unicellular and multicellular body plans. The dotted lines represent groups that include both unicellular and multicellular forms. Source: Reprinted from Robert Whittaker, “On the Broad Classification of Organisms,” *Quarterly Review of Biology* 34 (1959): 210–226, with permission from University of Chicago Press.

Downloaded from https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/62/1/67/295711 by guest on 24 July 2019

of molecular biology but also in ecology. In his influential ecology textbook, Eugene Odum (1959) described biology as a layer cake: The slices represented taxonomic divisions such as entomology or ornithology, but the “more basic” and fundamental layers represented disciplines such as genetics, cell biology, and ecology. These broad intellectual changes were reflected institutionally, by traditional botany and zoology departments’ increasing consolidation into biology departments or replacement by specialized departments along disciplinary lines that cut across taxonomic divisions. Whittaker’s own career tracked these changes. Although much of his research fell within traditional plant ecology, he began his professional career in a research position in which he studied the biogeochemical cycling of radionuclides at the Hanford National Laboratory in central Washington. This ecosystem-level research—conducted within the immediate Cold War context of US nuclear weapons production—strongly focused Whittaker’s sights on trophic levels (Whittaker 1961), which provided the intellectual foundation for his initial foray into the classification of kingdoms.

#### The development of Whittaker’s five-kingdom system

Shortly after leaving Hanford, Whittaker published a brief note in *Ecology*, arguing that the traditional dichotomy between plants and animals was artificial (Whittaker 1957). According to Whittaker, a better classification would recognize three broad kingdoms based on ecological trophic levels: producers (plants), consumers (animals), and decomposers (fungi and bacteria). He acknowledged that these kingdoms did not correspond very closely with taxonomic groupings in the traditional two kingdoms or with alternative three- and four-kingdom revisions that had been proposed earlier by some taxonomists. Instead, he appealed to a combined ecological and evolutionary justification: All ecological communities, past and present, included producers, consumers, and decomposers. Although these groups were heterogeneous, the three nutritional modes that characterized the trophic levels were conceptually clear cut and represented three “major directions of evolution.” Whittaker argued that recognizing kingdoms by ecological function provided an intellectual coherence that was lacking in systems based on morphological characteristics or speculative phylogenetic relationships.

Not only did Whittaker intend to replace the traditional two-kingdom system, but he also intended to forestall several competing three- and four-kingdom alternatives. In particular, Whittaker took aim at a four-kingdom proposal published a year earlier by Herbert Copeland (1956). Copeland also criticized the traditional plant–animal dichotomy, but both his approach and his solution were strikingly different from Whittaker’s. Primarily interested in “lower organisms,” Copeland proposed a new kingdom, Mychota, to include all prokaryotic organisms and another kingdom, Protocista, for all eukaryotic organisms that were not plants or animals. The appeal of this system rested on making the plant and animal kingdoms monophyletic and solving the

problem of intermediates like *Euglena* that had been claimed by both botanists and zoologists. Combining the fungi, various algae, protozoans, slime molds, and other organisms that lacked true tissues made the kingdom Protocista very heterogeneous. Nonetheless, Copeland claimed that this new kingdom was monophyletic because in the distant past, all of its diverse members shared a common ancestor. Copeland placed bacteria, which had traditionally also been included in the plant kingdom, into the kingdom Mychota on the basis of their unique prokaryotic cell structure.

In his book *The Classification of Lower Organisms*, Copeland (1956) provided a detailed taxonomic system subdividing his new kingdoms into phyla, classes, and orders. He paid considerable attention to important taxonomic issues of nomenclature, priority, stability, and phylogenetic relationships. For example, he provided a long historical account of various taxonomic revisions and group names that led to his new kingdom, Protocista. Whittaker had little use for these technical taxonomic considerations and argued that kingdoms should correspond primarily to clear-cut ecological distinctions and should serve only secondarily as taxonomic units. Whittaker was particularly critical of Copeland’s decision to include the fungi, red and brown algae, and numerous groups of microscopic eukaryotes in kingdom Protocista. According to Whittaker, “The kingdom Protocista seems more a product of taxonomic definitions than a grouping of organisms with coherent meaning or common evolutionary theme” (Whittaker 1957, p. 536). From Whittaker’s perspective, fungi and algae were two very different types of organisms, and it made no sense—ecologically or evolutionarily—to place them in the same kingdom. Imposing order on a complex and chaotic nature required conceptual clarity. From Whittaker’s perspective, Copeland’s kingdom Protocista badly failed this criterion.

It would be tempting to portray Copeland as Whittaker’s unsuccessful competitor, and, indeed, Whittaker effectively used the taxonomist as a target for criticism. At a time when taxonomy was being marginalized in American biology, Copeland’s elaborate taxonomic scheme provided an easy foil for Whittaker’s conceptually simpler approach. However, Copeland played at least two important positive roles in the subsequent development of Whittaker’s approach to kingdoms. In the late 1950s, Whittaker was relatively unfamiliar with microorganisms, and Copeland’s detailed system acted as an important spur to developing Whittaker’s later ideas about unicellular life. Second, Copeland’s distinction between prokaryotic and eukaryotic cells eventually became a critical part of Whittaker’s final five-kingdom system, even though he resisted it for over a decade.

The clash of ideas between Whittaker and Copeland was evident in a long review article published two years later (Whittaker 1959). Analyzing the history of kingdom classification, Whittaker presented a clear overview of several alternative systems. At the same time, he argued forcefully for his own ideas. This didactic approach was one that Whittaker also effectively used in his writing about community

Downloaded from https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/62/1/67/295711 by guest on 24 July 2019

classification (Whittaker 1962, Westman and Peet 1985). In both cases, Whittaker argued that there were no absolute criteria for choosing among competing classification systems but only relative criteria, which included important practical, theoretical, and aesthetic considerations. A successful system needed to be useful and biologically coherent but also needed to provide the “subjective satisfaction” of a well-organized set of categories (Whittaker 1962). Weighing the advantages and disadvantages of alternative systems, Whittaker argued cogently for a new four-kingdom system that he had devised, which included plants, animals, fungi, and a new kingdom that Whittaker called *Protista* (figure 2).

Throughout the 1959 article, Whittaker contrasted his ecological approach with the taxonomic approach used by Copeland and other biologists who classified kingdoms. First, he continued to argue for “functional” kingdoms that were primarily ecological and only secondarily taxonomic groupings. The idea that kingdoms should be defined in terms of ecological function was the origin of Whittaker’s approach to the subject, and in his 1959 article, he tied this idea more explicitly to the ecosystem theory that had rapidly developed during the 1950s (Hagen 1992, Golley 1993, Kingsland 2005). Second, Whittaker argued for a classification system that was broadly evolutionary, although not necessarily phylogenetic. Phylogenetic relationships were important but, according to Whittaker, monophyletic grouping needed to be balanced with other important criteria, such as ecological function and cellular organization. In addition, Whittaker resisted a purely phylogenetic basis for classification because he considered many of the phylogenetic claims made by Copeland and other taxonomists to be highly speculative. Before the widespread acceptance of cladistics, which did not occur until the 1970s, Whittaker’s views on phylogeny were held by many biologists.

The differences between Whittaker’s ecological approach and Copeland’s traditional taxonomic approach are evident in the way they treated several important groups of organisms. Both Whittaker and Copeland argued that the fungi should be removed from the plant kingdom, but for very different reasons. Copeland chose to group the fungi with other “lower” eukaryotic organisms that lacked tissues in his kingdom *Protoctista*. Although Copeland claimed that the kingdom was monophyletic, Whittaker challenged this view and also argued that the *Protoctista* were biologically “incoherent” because the kingdom was a hodgepodge of unicellular and multicellular organisms with very different modes of nutrition. Whittaker created a separate kingdom for the fungi, not because the group was monophyletic, but because the fungi were united by their ecological role as multicellular decomposers in ecosystems. This emphasis on decomposition as an ecological process worthy of defining a kingdom reflected Whittaker’s own work with biogeochemical cycling and also the growing prominence of biogeochemistry in ecosystem ecology (Hagen 1992). To further support a separate kingdom for the fungi, Whittaker pointed to recent research that cast doubt on the belief that

modern fungi had descended from photosynthetic ancestors similar to filamentous algae. According to Whittaker, the evidence against this earlier claim undercut both the traditional grouping of fungi within the plant kingdom and Copeland’s decision to combine the fungi with various algae in his kingdom *Protoctista*.

In place of the *Protoctista*, Whittaker (1959) now proposed a purely unicellular kingdom, *Protista*—an idea that he attributed to Ernst Haeckel. Although he acknowledged that many groups such as *Chlorophyta* had both unicellular and multicellular members, Whittaker argued that the distinction between unicellular and multicellular body plans was conceptually clear cut and biologically meaningful. Furthermore, Whittaker pointed to the symmetry between the multicellular kingdoms of animals, plants, and fungi and the various subgroups within the *Protista*. In both cases, one could find the three major directions of evolution and ecological functions: producers, consumers, and decomposers. Therefore, by using two fundamental characteristics—mode of nutrition and cellular organization—Whittaker created a system of classification that was both simple and conceptually coherent (figure 2).

The addition of kingdom *Protista* to Whittaker’s original three-kingdom scheme highlighted another major difference between his ecological approach and Copeland’s taxonomic approach. Copeland restricted his plant kingdom to a monophyletic group of vascular plants and their close relatives. Whittaker originally wanted to include all producers in the plant kingdom. He was now willing to relegate unicellular algae and cyanobacteria to his new kingdom *Protista*, but Whittaker continued to place all multicellular producers in kingdom *Plantae*. Whittaker’s functional plant kingdom was an admittedly polyphyletic group of land plants, brown algae, and red algae. He justified this grouping on the grounds of both ecological function and cellular structure. The brown and red algae included large, complex, multicellular organisms that played the same ecological role in marine ecosystems that plants played in terrestrial ecosystems: They were, indeed, “functional plants.”

Whittaker’s delineation of the kingdoms *Plantae* and *Protista* was later rejected even by some of his strongest supporters (Margulis 1971, 1974), but it highlights the distinction between his functional kingdoms and traditional taxonomic kingdoms. It also illustrates the philosophical underpinnings of Whittaker’s approach to classifying both kingdoms and communities. Just as one could not always use environmental variables to precisely determine whether an area would be forest or grassland, so one could not neatly place groups such as the *Chlorophyta* into one or another kingdom on the basis of cellularity (figures 1 and 2). Despite the ambiguity, Whittaker (1959) argued that his system provided the better alternative because it was conceptually more coherent than Copeland’s system. Interestingly, later biologists tended to define kingdom *Protista* using a combination of criteria borrowed from both the Whittaker and the Copeland systems.

A decade later, Whittaker published his definitive five-kingdom system in the high-profile journal *Science*, ensuring that his ideas would reach a broad audience (Whittaker 1969). Although the article repeated much of the line of reasoning that Whittaker employed in 1959, there were several substantive differences in both content and style. Most importantly, Whittaker now accepted Copeland's earlier decision to place all prokaryotic organisms into their own kingdom. Although he had considered this possibility in 1959, Whittaker made the more conservative decision to include the bacteria as a subkingdom of the Protista. The prokaryotic kingdom Monera now joined kingdoms Protista, Fungi, Plantae, and Animalia in the final version of Whittaker's system.

Whittaker justified adding the new kingdom Monera to his system for several reasons. By the end of the 1960s, the prokaryote–eukaryote distinction was a mainstream idea accepted by leading microbiologists (Sapp 2005, 2006, 2009). Citing the still-controversial endosymbiotic theory being championed by Lynn Margulis as an attractive explanation for the evolution of eukaryotic cells, Whittaker now claimed that the prokaryote–eukaryote boundary represented the most fundamental division in the living world. Finally, Whittaker argued that the absorptive nutritional mode that characterized most Monerans was the original method of gaining energy. Photosynthesis had evolved in a few Monerans, but the three nutritional modes became well established only after the first eukaryotic protists evolved through endosymbiosis. Therefore, organisms could be placed into one of three structural grades: prokaryotes, unicellular eukaryotes, and multicellular eukaryotes. Within the two higher grades, various lineages of producers, consumers, and decomposers could be clearly identified, although only producers and decomposers were found at the prokaryotic grade.

Stylistically, Whittaker departed from the broad review of competing systems that he had used in 1959 and presented classification as a choice between two alternatives: Copeland's four-kingdom system and Whittaker's new five-kingdom system. Both the importance of the choice and the rationale for making it were also new. Whittaker now emphasized the pedagogical importance of revising the traditional two-kingdom system with one that better represented the broad contours of the living world. Noting that several introductory biology textbooks questioned the plant–animal dichotomy, Whittaker had an obvious motivation for highlighting the differences between the two alternative replacements. Compared with Copeland's elaborate taxonomic system, Whittaker claimed that his functional kingdoms rested on two criteria that biologists considered important and that students could easily understand.

#### The five-kingdom system and Cold War educational reforms

The Soviet launch of Sputnik 1 in 1957 served as a potent catalyst for educational change (Grobman 1969, Sundberg et al. 1992, Rudolph 2002). Exploiting fears that the United

States was falling behind the Soviet Union in science, educational reformers pushed for revamping the nation's outdated approach to biology. Critics complained that existing textbooks were little more than dry surveys of plant and animal phyla, emphasizing anatomical description rather than unifying principles (Grobman 1969, Rudolph 2002). Drawing on expanded federal funding, new organizations such as the Biological Sciences Curriculum Study (BSCS) and the Commission on Undergraduate Education in the Biological Sciences (CUEBS) designed innovative curricula, textbooks, and laboratory exercises (Sundberg et al. 1992, Engleman 2001). Highlighting how difficult this was, BSCS published three different high school textbooks because of disagreements over fundamental biological principles. Two of these textbooks (the “blue” and “green” versions) departed radically from earlier textbooks by emphasizing evolution, the process of science, and unifying principles of cell and molecular biology (blue version) and ecology (green version). Students were exposed to a variety of organisms but in the context of discussing these broader biological concepts, rather than as a taxonomic survey.

CUEBS never produced comparable products at the college level, but its recommendations influenced the writing of new college textbooks that were profoundly different from their predecessors (Sundberg et al. 1992). Popular pre-Sputnik textbooks were based on the pedagogical assumption that understanding topics such as genetics or ecology required a thorough familiarity with plant and animal taxa (Johnson et al. 1956). Therefore, chapters on heredity and ecology were tucked at the end of the book, where critics complained they were rarely read (Rudolph 2002). Conscious of the educational reforms proposed by CUEBS, later editions of these established textbooks added more chapters on cell biology, genetics, and ecology (Johnson et al. 1966) but retained the pedagogical premise that familiarity with biodiversity was a prerequisite for understanding the unity of life. By contrast, a new generation of post-Sputnik textbooks emphatically rejected this traditional pedagogical approach. Rather than detailed taxonomic and anatomical surveys, these books shifted much greater attention to cell biology, genetics, development, animal behavior, and ecology (figure 3). These topics were organized around three overarching themes: evolution, the molecular and cellular basis of life, and energetics.

The new design adopted by the authors of post-Sputnik textbooks posed serious challenges for discussing biodiversity. The emphasis on unifying principles, combined with a much-reduced taxonomic survey, demanded a more compelling way to describe the broad classification of organisms than the traditional plant–animal dichotomy. By emphasizing the importance of both ecological trophic levels and cellular structure, Whittaker's five-kingdom system organized biological diversity using the very themes that new biology textbooks stressed so heavily. Still, the two most popular post-Sputnik textbooks did not immediately adopt Whittaker's system but only gradually came to embrace it in

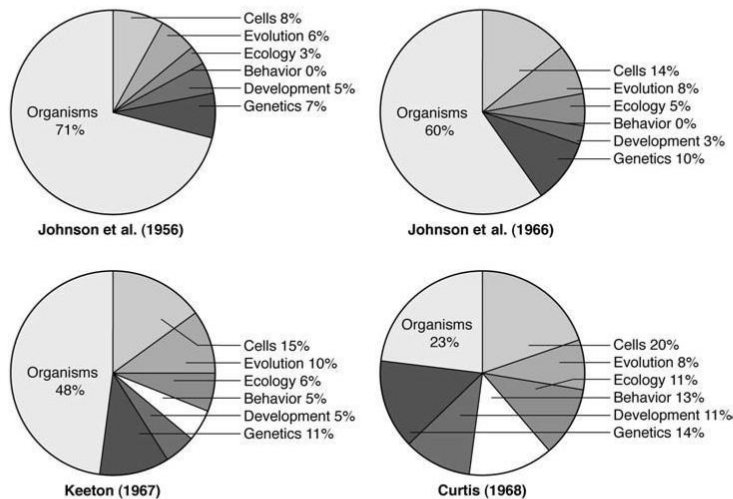


Figure 3. A comparison of coverage of topics in pre- and post-Sputnik introductory biology textbooks.

later editions. Examining this transition sheds light on the difficulties of presenting biodiversity in the context of a new biology that deemphasized traditional taxonomy and the study of organisms.

William Keeton was an invertebrate taxonomist, but he also turned a boyhood interest in training homing pigeons into a successful research career in avian orientation and navigation at Cornell University (Emlen 1981). When the life sciences were reorganized at Cornell, Keeton moved from the Department of Entomology to a newly established program in Neurobiology and Behavior. During this period, he designed and taught an extremely popular introductory biology course and spent five years writing his highly successful textbook (Keeton 1967, Emlen 1981).

In some ways, Keeton's (1967) *Biological Science* was a major departure from older textbooks, but it initially retained the traditional focus on plants and animals. Indeed, Keeton's teaching innovation was combining botany and zoology into a single course (Emlen 1981), and this was reflected in the textbook that he wrote. Although he briefly discussed the kingdom Monera, Keeton stuck closely to the traditional taxonomic system of plants and animals. He acknowledged the weaknesses of the plant–animal dichotomy but justified his choice in two ways: First, organisms familiar to students tended to be either plants or animals, so the traditional two-kingdom system provided a common-sense way to organize biodiversity. Most of the examples used by Keeton to illustrate unifying biological principles were drawn from multicellular plants and animals. Second, Keeton argued that phylogenetic relationships among protists and fungi were highly speculative and provided little support for newer classification systems. Although he briefly

presented several alternative systems in a table, it was not until the third edition, in 1979, that Keeton adopted Whittaker's five-kingdom system. By this time, Whittaker, who was Keeton's colleague at Cornell, was acting as a consultant on the textbook. Not only did Keeton now use Whittaker's system to reorganize the five chapters on biodiversity, but he also devoted a page of the introductory chapter to discussing the logic of Whittaker's system in relation to the other major themes of the textbook. Thus, the five-kingdom system joined natural selection, energetics, and cell theory as broad explanatory principles that provided the foundation for discussing all of the other topics in the book. This approach was widely copied by later biology textbooks.

Helena Curtis's (1968) *Biology* was an even greater departure from traditional textbooks, because less than 25% of the book was devoted to organisms (figure 3). Curtis was a highly successful science writer, who made up for a lack of professional training in biology by enlisting a lineup of distinguished scientists as consultants. The result of this collaboration was a textbook widely acclaimed for its engaging style (Luria 1969, Villager 2005). Curtis initially dismissed the choice of kingdom classification as a technical matter of interest only to professional taxonomists (Curtis 1968). Like Keeton, she emphasized that phylogenetic relationships—particularly among the protists—were highly speculative. Because there was little compelling support for any of the competing systems, Curtis was ambivalent about her choice of adding a third kingdom of microorganisms to the traditional plant and animal kingdoms. Despite her initial reluctance to strongly endorse any system of kingdom classification, Curtis's approach to introducing biological concepts harmonized well with the logic of Whittaker's approach. Like Keeton, Curtis emphasized energetics at both the cellular and ecological levels, and she presented the distinction between autotrophs and heterotrophs as fundamental. Similarly, her emphasis on cellular evolution (including endosymbiosis) and the prokaryote–eukaryote dichotomy for understanding cell structure provided another rationale for eventually accepting the five-kingdom system.

Curtis significantly reorganized the chapters of her textbook for the third edition, published in 1979, using two broad thematic divisions: the unity of life and the diversity of life. Despite misgivings about Whittaker's kingdom Protista, Curtis now endorsed the five-kingdom system as the best alternative for understanding the general contours

Downloaded from https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/62/1/67/295711 by guest on 24 July 2019

of biodiversity. Just as Darwinian evolution, cell theory, and energetics served as fundamental principles for understanding the unity of life, Curtis now used the five-kingdom system as a basic principle underlying the section of her book devoted to the diversity of life. Both the “unity and diversity of life” themes and the use of Whittaker’s system for organizing diversity were widely copied by later textbooks that tried to compete with the textbooks of Curtis and Keeton during the final two decades of the twentieth century.

Why Keeton and Curtis did not more quickly adopt Whittaker’s five-kingdom system is an intriguing historical question. Whittaker suggested that the continued use of the two-kingdom system by biologists was largely attributable to intellectual conservatism and that acceptance of the five-kingdom system required a kind of cultural evolution in biological thinking (Whittaker 1969, Whittaker and Margulis 1978). The two-kingdom system had long been criticized, and several alternatives had been suggested, beginning in the late nineteenth century. In the first two editions of his textbook, Keeton acknowledged these alternatives without strongly endorsing any of them. His continued use of the plant–animal dichotomy for organizing biodiversity until the late 1970s was a conservative element in an otherwise highly innovative textbook. When Keeton and Curtis finally adopted the five-kingdom system in the third editions of their textbooks, both of them justified the switch on the basis of a gradual shift among biologists toward supporting Whittaker’s system. Several reasons can be suggested for the gradualness of this change. The decline of traditional botany and zoology—as disciplines, departments, and introductory courses—made the plant–animal dichotomy less attractive, but this shift occurred in a piecemeal way during the Cold War era. Conversely, the increasing prominence of ecology in the biology curriculum—partly in response to popular environmental movements—reached a peak during the 1970s. This, in addition to new developments in cell biology, contributed importantly to the success of Whittaker’s system. Perhaps most significantly, an alliance between Whittaker and Lynn Margulis closely linked the five-kingdom system with the controversial but increasingly influential theory of endosymbiosis (Margulis 1970, 1971, 1974, Whittaker and Margulis 1978). Margulis quickly embraced the five-kingdom system, focused considerable scientific attention on unicellular organisms, and played a major role in refining Whittaker’s problematic kingdom Protista. The growing linkage between endosymbiosis and the five-kingdom system appears to have been important for both Curtis and Keeton, who each placed the topics back to back in the third editions of their textbooks. All of these changes took time, but a decade after Whittaker introduced his system, the tide had turned decisively toward the acceptance of five kingdoms. Suffice it to say that during the final two decades of the twentieth century, all major biology textbooks followed Keeton and Curtis in using some version of Whittaker’s five-kingdom system to organize discussions of biodiversity.

### Domains and kingdoms

Ironically, as the five-kingdom system became a prominent and well-established feature of introductory textbooks, the rationale for Whittaker’s approach was being undermined in a number of important ways. Molecular systematists rejected the earlier belief that phylogenetic relationships among protists and bacteria were inherently speculative and perhaps unknowable (Sapp 2009). As molecular sequences rapidly accumulated, along with advanced computational techniques to analyze them, confidence grew among biologists that monophyletic classification of formerly problematic groups was within reach. This undercut the logic of Whittaker’s system, which was broadly evolutionary but not phylogenetic. Whittaker’s belief that phylogeny was only one of several equally valid criteria for classification had also been widely shared when he began writing about kingdoms, but with the rapid rise of cladistics during the 1970s, biologists increasingly rejected this view. The seemingly fundamental distinction between prokaryotes and eukaryotes was also challenged by the discovery of the archaea (initially referred to as *archaeobacteria*) and Carl Woese’s claim that all living organisms belonged to one of three broad domains: archaea, bacteria, and eukarya (Woese et al. 1990, Sapp 2009). Woese was highly critical of the prokaryote–eukaryote dichotomy, both as a basis for classification and as a supposedly useful distinction between types of cells (Sapp 2006, 2009). Woese claimed that the dichotomy was based on a false distinction that was phylogenetically misleading; he opposed defining the kingdom Monera negatively, on the basis of the lack of a structure (i.e., the nucleus); and he argued that the dichotomy was incompatible with the three-domain system that he championed. In short, he wanted to eliminate the terms *prokaryote* and *eukaryote* from the biological vocabulary (Sapp 2006).

Textbooks quickly adopted Woese’s idea of three domains, but his critique of the prokaryote–eukaryote dichotomy was ignored. Therefore, Woese’s three domains and the remnants of Whittaker’s five kingdoms rest somewhat uncomfortably in modern textbook discussions of biodiversity. Many textbooks recognize a new kingdom for the archaea, but both the archaea and bacteria are typically discussed in the chapter devoted to prokaryotic life. Similarly, although most textbook authors have abandoned the polyphyletic kingdom Protista, they continue to devote a chapter to “protists.” The persistence of Whittaker’s ideas about kingdoms cannot be explained entirely by intellectual inertia but rather by genuine ambiguities in the broad classification of organisms. This ambiguity is reflected in the spirited debate over the implications of recognizing Woese’s three domains and the controversy over Woese’s critique of the prokaryote–eukaryote dichotomy (Mayr 1998, Woese 1998, Sapp 2006, 2009). Despite the popularity of Woese’s domains, most educators find the distinction between prokaryotes and eukaryotes to be useful, and textbooks continue to highlight the significance of the two cell types. The strong support that some prominent biologists continue to voice for the five- (or six-) kingdom system—albeit in modified

form—is another reason that textbooks have not completely abandoned Whittaker’s approach. For example, Margulis and Chapman (2009) criticized Woese’s domains for being based exclusively on molecular data and ignoring other important biological characteristics of organisms. As a result, Margulis and Chapman continued to argue for maintaining a prokaryotic superkingdom that includes both bacteria and archaea. Margulis and Chapman also pointed out that a completely monophyletic classification would have so many kingdoms that it would lose any pedagogical value for students’ understanding of biodiversity. This pedagogical point highlights the tension between basing a kingdom system strictly on phylogeny while still “providing a synoptic view of the living world” (Whittaker and Margulis 1978, p. 11). The need for this “synoptic view” reinforces the major strengths of Whittaker’s system: its simplicity and close ties to easily understandable ecological and cellular principles. Whittaker’s grouping of organisms according to cellular structure and ecological function constituted a manageable and conceptually pleasing scheme—one that seems difficult to completely abandon, despite its acknowledged shortcomings.

**Acknowledgments**

I thank Christine Small, Fred Singer, and three anonymous reviewers for their comments on an earlier draft of this article. I also thank John Norton for preparing the figures.

**References cited**

Copeland HF. 1956. *The Classification of Lower Organisms*. Pacific Books.  
 Curtis H. 1968. *Biology*. Worth.  
 Emlen ST. 1981. In memoriam: William T. Keeton. *Auk* 98: 167–172.  
 Engleman L, ed. 2001. *The BSCS Story: A History of the Biological Sciences Curriculum Study*. BSCS.  
 Golley FB. 1993. *A History of the Ecosystem Concept in Ecology: More than the Sum of the Parts*. Yale University Press.  
 Grobman AB. 1969. *The Changing Classroom: The Role of the Biological Sciences Curriculum Study*. Doubleday.  
 Hagen JB. 1992. *An Entangled Bank: The Origins of Ecosystem Ecology*. Rutgers University Press.  
 Johnson WH, Laubengayer RA, DeLanney LE. 1956. *General Biology*. Holt.  
 ———. 1966. *General Biology*, 2nd ed. Holt.  
 Keeton WT. 1967. *Biological Science*. Norton.  
 Kingsland SE. 2005. *The Evolution of American Ecology, 1890–2000*. Johns Hopkins University Press.  
 Kohler RE. 2008. Plants and Pigeonholes: Classification as a practice in American ecology. *Historical Studies in the Natural Sciences* 38: 77–108.  
 Luria SE. 1969. On teaching biology in a biological revolution. *Scientific American* 220: 131–134.  
 Margulis L. 1970. *Origin of Eukaryotic Cells*. Yale University Press.  
 ———. 1971. Whittaker’s five kingdoms of organisms: Minor revisions suggested by considerations of the origin of mitosis. *Evolution* 25: 242–245.

———. 1974. Five-kingdom classification and the origin and evolution of cells. *Evolutionary Biology* 7: 45–78.  
 Margulis L, Chapman MJ. 2009. *Kingdoms and Domains: An Illustrated Guide to the Phyla of Life on Earth*, 4th ed. Academic Press.  
 Mayr E. 1998. Two empires or three? *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95: 9720–9723.  
 Nicolson M, McIntosh RP. 2002. H. A. Gleason and the individualistic hypothesis revisited. *Bulletin of the Ecological Society of America* 83: 133–142.  
 Odum EP. 1959. *Fundamentals of Ecology*, 2nd ed. Saunders.  
 Rudolph JL. 2002. *Scientists in the Classroom: The Cold War Reconstruction of American Science Education*. Palgrave.  
 Sapp J. 2005. The prokaryote–eukaryote dichotomy: Meanings and mythology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 69: 292–305.  
 ———. 2006. Two faces of the prokaryote concept. *International Microbiology* 9: 163–172.  
 ———. 2009. *The New Foundations of Evolution: On the Tree of Life*. Oxford University Press.  
 Sundberg MD, Kormondy EJ, Carter JL, Moore JA, Postlethwait SN, Thornton JW. 1992. Reassessing the commission on undergraduate education in the biological sciences. *BioScience* 42: 442–447.  
 Villager. 2005. Obituary: Helena Curtis, 81, wrote ‘elegant’ science textbooks. *The Villager* 74. February 23–March 1. (5 July 2011; [www.thevillager.com/vil\\_95/helenacurtis81.html](http://www.thevillager.com/vil_95/helenacurtis81.html))  
 Westman WE, Peet RK. 1985. Robert Whittaker (1920–1980): The man and his work. Pages 6–30 in Peet RK, ed. *Plant Community Ecology: Papers in Honor of Robert H. Whittaker*. Junk.  
 Whittaker RH. 1948. *A Vegetation Analysis of the Great Smoky Mountains*. PhD dissertation. University of Illinois, Urbana.  
 ———. 1956. *Vegetation of the Great Smoky Mountains*. *Ecological Monographs* 26: 1–80.11  
 ———. 1957. The kingdoms of the living world. *Ecology* 38: 536–538.  
 ———. 1959. On the broad classification of organisms. *Quarterly Review of Biology* 34: 210–226.  
 ———. 1961. Experiments with radiophosphorus tracer in aquarium microcosms. *Ecological Monographs* 31: 157–188.  
 ———. 1962. Classification of natural communities. *Botanical Review* 28: 1–239.  
 ———. 1969. New concepts of kingdoms of organisms. *Science* 163: 150–160.  
 ———. 1970. *Communities and Ecosystems*. Macmillan.  
 ———. 1972. Introduction. Pages 1–6 in Whittaker RH, ed. *Ordination and Classification of Communities*. Junk.  
 ———. 1978. Approaches to classifying vegetation. Pages 1–33 in Whittaker RH, ed. *Classification of Plant Communities*. Junk.  
 Whittaker RH, Margulis L. 1978. Protist classification and the kingdoms of organisms. *BioSystems* 10: 3–18.  
 Wilson EO. 2006. *Naturalist*, 2nd ed. Island Press.  
 Woese CR. 1998. Default taxonomy: Ernst Mayr’s view of the microbial world. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95: 11043–11046.  
 Woese CR, Kandler O, Wheelis ML. 1990. Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 87: 4576–4579.

Joel B. Hagen ([jhagen@radford.edu](mailto:jhagen@radford.edu)) is affiliated with the Biology Department at Radford University, in Radford, Virginia.

Downloaded from <https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/62/1/67/295711> by guest on 24 July 2019

Anexo 12. Artículo: Woese, C. R. y Fox, G. E. (1977). Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms.<sup>12</sup>

Proc. Natl. Acad. Sci. USA  
Vol. 74, No. 11, pp. 5088-5090, November 1977  
Evolution

## Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms

(archaeobacteria/eubacteria/urkaryote/16S ribosomal RNA/molecular phylogeny)

CARL R. WOESE AND GEORGE E. FOX\*

Department of Genetics and Development, University of Illinois, Urbana, Illinois 61801

Communicated by T. M. Sonneborn, August 18, 1977

**ABSTRACT** A phylogenetic analysis based upon ribosomal RNA sequence characterization reveals that living systems represent one of three aboriginal lines of descent: (i) the eubacteria, comprising all typical bacteria; (ii) the archaeobacteria, containing methanogenic bacteria; and (iii) the urkaryotes, now represented in the cytoplasmic component of eukaryotic cells.

The biologist has customarily structured his world in terms of certain basic dichotomies. Classically, what was not plant was animal. The discovery that bacteria, which initially had been considered plants, resembled both plants and animals less than plants and animals resembled one another led to a reformulation of the issue in terms of a yet more basic dichotomy, that of eukaryote versus prokaryote. The striking differences between eukaryotic and prokaryotic cells have now been documented in endless molecular detail. As a result, it is generally taken for granted that all extant life must be of these two basic types.

Thus, it appears that the biologist has solved the problem of the primary phylogenetic groupings. However, this is not the case. Dividing the living world into *Prokaryotae* and *Eukaryotae* has served, if anything, to obscure the problem of what extant groupings represent the various primeval branches from the common line of descent. The reason is that eukaryote/prokaryote is not primarily a phylogenetic distinction, although it is generally treated so. The eukaryotic cell is organized in a different and more complex way than is the prokaryote; this probably reflects the former's composite origin as a symbiotic collection of various simpler organisms (1-5). However striking, these organizational dissimilarities do not guarantee that eukaryote and prokaryote represent phylogenetic extremes.

The eukaryotic cell *per se* cannot be directly compared to the prokaryote. The composite nature of the eukaryotic cell makes it necessary that it first be conceptually reduced to its phylogenetically separate components, which arose from ancestors that were noncomposite and so individually are comparable to prokaryotes. In other words, the question of the primary phylogenetic groupings must be formulated solely in terms of relationships among "prokaryotes"—i.e., noncomposite entities. (Note that in this context there is no suggestion *a priori* that the living world is structured in a dichotomous way.)

The organizational differences between prokaryote and eukaryote and the composite nature of the latter indicate an important property of the evolutionary process: Evolution seems to progress in a "quantized" fashion. One level or domain of organization gives rise ultimately to a higher (more complex) one. What "prokaryote" and "eukaryote" actually represent are two such domains. Thus, although it is useful to define phylogenetic patterns within each domain, it is not meaningful

to construct phylogenetic classifications between domains: Prokaryotic kingdoms are not comparable to eukaryotic ones. This should be recognized by an appropriate terminology. The highest phylogenetic unit in the prokaryotic domain we think should be called an "urkingdom"—or perhaps "primary kingdom." This would recognize the qualitative distinction between prokaryotic and eukaryotic kingdoms and emphasize that the former have primary evolutionary status.

The passage from one domain to a higher one then becomes a central problem. Initially one would like to know whether this is a frequent or a rare (unique) evolutionary event. It is traditionally assumed—without evidence—that the eukaryotic domain has arisen but once; all extant eukaryotes stem from a common ancestor, itself eukaryotic (2). A similar prejudice holds for the prokaryotic domain (2). [We elsewhere argue (6) that a hypothetical domain of lower complexity, that of "progenotes," may have preceded and given rise to the prokaryotes.] The present communication is a discussion of recent findings that relate to the urkingdom structure of the prokaryotic domain and the question of its unique as opposed to multiple origin.

Phylogenetic relationships cannot be reliably established in terms of noncomparable properties (7). A comparative approach that can measure degree of difference in comparable structures is required. An organism's genome seems to be the ultimate record of its evolutionary history (8). Thus, comparative analysis of molecular sequences has become a powerful approach to determining evolutionary relationships (9, 10).

To determine relationships covering the entire spectrum of extant living systems, one optimally needs a molecule of appropriately broad distribution. None of the readily characterized proteins fits this requirement. However, ribosomal RNA does. It is a component of all self-replicating systems; it is readily isolated; and its sequence changes but slowly with time—permitting the detection of relatedness among very distant species (11-13). To date, the primary structure of the 16S (18S) ribosomal RNA has been characterized in a moderately large and varied collection of organisms and organelles, and the general phylogenetic structure of the prokaryotic domain is beginning to emerge.

A comparative analysis of these data, summarized in Table 1, shows that the organisms clearly cluster into several primary kingdoms. The first of these contains all of the typical bacteria so far characterized, including the genera *Acetobacterium*, *Acinetobacter*, *Acholeplasma*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Anacystis*, *Aphanocapsa*, *Bacillus*, *Bdellovibrio*, *Chlorobium*, *Chromatium*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Escherichia*, *Eubacterium*, *Lactobacillus*, *Leptospira*, *Micrococcus*, *Mycoplasma*, *Paracoccus*, *Photobacterium*, *Protonibacterium*,

\* Present address: Department of Biophysical Sciences, University of Houston, Houston, TX 77004.

The costs of publication of this article were defrayed in part by the payment of page charges. This article must therefore be hereby marked "advertisement" in accordance with 18 U. S. C. §1734 solely to indicate this fact.

<sup>12</sup> Woese, C. R. y Fox, G. E. (1977). Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 74 (11), 5088-5090.



Table 1. Association coefficients ( $S_{AB}$ ) between representative members of the three primary kingdoms

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , 18S	—	0.29	0.33	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.08	0.11	0.11	0.08	0.08
2. <i>Lemna minor</i> , 18S	0.29	—	0.36	0.10	0.05	0.06	0.10	0.09	0.11	0.10	0.10	0.13	0.07
3. L cell, 18S	0.33	0.36	—	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09	0.06	0.10	0.10	0.09	0.07
4. <i>Escherichia coli</i>	0.05	0.10	0.06	—	0.24	0.25	0.28	0.26	0.21	0.11	0.12	0.07	0.12
5. <i>Chlorobium vibrioforme</i>	0.06	0.05	0.06	0.24	—	0.22	0.22	0.20	0.19	0.06	0.07	0.06	0.09
6. <i>Bacillus firmus</i>	0.08	0.06	0.07	0.25	0.22	—	0.34	0.26	0.20	0.11	0.13	0.06	0.12
7. <i>Corynebacterium diphtheriae</i>	0.09	0.10	0.07	0.28	0.22	0.34	—	0.23	0.21	0.12	0.12	0.09	0.10
8. <i>Aphanocapsa</i> 6714	0.11	0.09	0.09	0.26	0.20	0.26	0.23	—	0.31	0.11	0.11	0.10	0.10
9. Chloroplast ( <i>Lemna</i> )	0.08	0.11	0.06	0.21	0.19	0.20	0.21	0.31	—	0.14	0.12	0.10	0.12
10. <i>Methanobacterium thermoautotrophicum</i>	0.11	0.10	0.10	0.11	0.06	0.11	0.12	0.11	0.14	—	0.51	0.25	0.30
11. <i>M. ruminantium</i> strain M-1	0.11	0.10	0.10	0.12	0.07	0.13	0.12	0.11	0.12	0.51	—	0.25	0.24
12. <i>Methanobacterium</i> sp., Cariaco isolate JR-1	0.08	0.13	0.09	0.07	0.06	0.06	0.09	0.10	0.10	0.25	0.25	—	0.32
13. <i>Methanosarcina barkeri</i>	0.08	0.07	0.07	0.12	0.09	0.12	0.10	0.10	0.12	0.30	0.24	0.32	—

The 16S (18S) ribosomal RNA from the organisms (organelles) listed were digested with T1 RNase and the resulting digests were subjected to two-dimensional electrophoretic separation to produce an oligonucleotide fingerprint. The individual oligonucleotides on each fingerprint were then sequenced by established procedures (13, 14) to produce an oligonucleotide catalog characteristic of the given organism (3, 4, 13–17, 22, 23; unpublished data). Comparisons of all possible pairs of such catalogs defines a set of association coefficients ( $S_{AB}$ ) given by:  $S_{AB} = 2N_{AB}/(N_A + N_B)$ , in which  $N_A$ ,  $N_B$ , and  $N_{AB}$  are the total numbers of nucleotides in sequences of hexamers or larger in the catalog for organism A, in that for organism B, and in the interreaction of the two catalogs, respectively (13, 23).

*Pseudomonas*, *Rhodospseudomonas*, *Rhodospirillum*, *Spirillochaeta*, *Spiroplasma*, *Streptococcus*, and *Vibrio* (refs. 13–17; unpublished data). The group has three major subdivisions, the blue-green bacteria and chloroplasts, the “Gram-positive” bacteria, and a broad “Gram-negative” subdivision (refs. 3, 4, 13–17; unpublished data). It is appropriate to call this urkingdom the *eubacteria*.

A second group is defined by the 18S rRNAs of the eukaryotic cytoplasm—animal, plant, fungal, and slime mold (unpublished data). It is uncertain what ancestral organism in the symbiosis that produced the eukaryotic cell this RNA represents. If there had been an “engulfing species” (1) in relation to which all the other organisms were endosymbionts, then it seems likely that 18S rRNA represents that species. This hypothetical group of organisms, in one sense the major ancestors of eukaryotic cells, might appropriately be called *urkaryotes*. Detailed study of anaerobic amoebae and the like (18), which seem not to contain mitochondria and in general are cytologically simpler than customary examples of eukaryotes, might help to resolve this question.

Eubacteria and urkaryotes correspond approximately to the conventional categories “prokaryote” and “eukaryote” when they are used in a phylogenetic sense. However, they do not constitute a dichotomy; they do not collectively exhaust the class of living systems. There exists a third kingdom which, to date, is represented solely by the methanogenic bacteria, a relatively unknown class of anaerobes that possess a unique metabolism based on the reduction of carbon dioxide to methane (19–21). These “bacteria” appear to be no more related to typical bacteria than they are to eukaryotic cytoplasm. Although the two divisions of this kingdom appear as remote from one another as blue-green algae are from other eubacteria, they nevertheless correspond to the *same* biochemical phenotype. The apparent antiquity of the methanogenic phenotype plus the fact that it seems well suited to the type of environment presumed to exist on earth 3–4 billion years ago lead us tentatively to name this urkingdom the *archaeobacteria*. Whether or not other biochemically distinct phenotypes exist in this kingdom is clearly an important question upon which may turn our concept of the nature and ancestry of the first prokaryotes.

Table 1 shows the three urkingdoms to be equidistant from

one another. Because the distances measured are actually proportional to numbers of mutations and not necessarily to time, it cannot be proven that the three lines of descent branched from the common ancestral line at about the same time. One of the three may represent a far earlier bifurcation than the other two, making there in effect only two urkingdoms. Of the three possible unequal branching patterns the case for which the initial bifurcation defines urkaryotes vs. all bacteria requires further comment because, as we have seen, there is a predilection to accept such a dichotomy.

The phenotype of the methanogens, although ostensibly “bacterial,” on close scrutiny gives no indication of a specific phylogenetic resemblance to the eubacteria. For example, methanogens do have cell walls, but these do not contain peptidoglycan (24). The biochemistry of methane formation appears to involve totally unique coenzymes (23, 25, 26). The methanogen rRNAs are comparable in size to their eubacterial counterparts, but resemble the latter specifically in neither sequence (Table 1) nor in their pattern of base modification (23). The tRNAs from eubacteria and eukaryotes are characterized by a common modified sequence, T $\Psi$ CG; methanogens modify this tRNA sequence in a quite different and unique way (23). It must be recognized that very little is known of the general biochemistry of the methanogens—and almost nothing is known regarding their molecular biology. Hence, although the above points are few in number, they represent most of what is now known. There is no reason at present to consider methanogens as any closer to eubacteria than to the “cytoplasmic component” of the eukaryote. Both in terms of rRNA sequence measurement and in terms of general phenotypic differences, then, the three groupings appear to be distinct urkingdoms.

If a third urkingdom exists, does this suggest that many more such will be found among yet to be characterized organisms? We think not, although the matter clearly requires an exhaustive search. As seen above, the number of species that can be classified as eubacteria is moderately large. To this list can be added *Spirillum* and *Desulfovibrio*, whose rRNAs appear typically eubacterial by nucleic acid hybridization measurements (27). Because the list is also phenotypically diverse, it seems unlikely that many, if any, of the yet uncharacterized

prokaryotic groups will be shown to have coequal status with the present three. Conceivably the halophiles whose cell walls contain no peptidoglycan, are candidates for this distinction (28, 29).

Eukaryotic organelles, however, could be a different matter. There can be no doubt that the chloroplast is of specific eubacterial origin (3, 4). A question arises with the remaining organelles and structures. Mitochondria, for example, do not conform well to a "typically prokaryotic" phenotype, which has led some to conclude that they could not have arisen as endosymbionts (30). By using "prokaryote" in a phylogenetic sense, this formulation of the issue does not recognize a third alternative—that the organelle in question arose endosymbiotically from a separate line of descent whose phenotype is not "typically prokaryotic" (i.e., eubacterial). It is thus conceivable that some endosymbiotically formed structures represent still other major phylogenetic groups; some could even be the only extant representation thereof.

The question that remains to be answered is whether the common ancestor of all three major lines of descent was itself a prokaryote. If not, each urkingdom represents an independent evolution of the prokaryotic level of organization. Obviously, much more needs to be known about the general properties of all the urkingdoms before this matter can be definitely settled. At present we can point to two arguments suggesting that each urkingdom does represent a separate evolution of the prokaryotic level of organization.

The first argument concerns the stability of the general phenotypes. The general eubacterial phenotype has been stable for at least 3 billion years—i.e., the apparent age of blue-green algae (31). The methanogenic phenotype seems to be at least this old in that branchings within the two urkingdoms are comparably deep (see Table 1). The time available to form each phenotype (from their common ancestor) is then short by comparison, which seems paradoxical in that the two phenotypes are so fundamentally different. We think that this ostensible paradox implies that the common ancestor in this case was not a prokaryote. It was a far simpler entity; it probably did not evolve at the "slow" rate characteristic of prokaryotes; it did not possess many of the features possessed by prokaryotes, and so these evolved independently and differently in separate lines of descent.

The second argument concerns the quality of the differences in the three general phenotypes. It seems highly unlikely, for example, that differences in general patterns of base modification in rRNAs and tRNAs are related to the niches that organisms occupy. Rather, differences of this nature imply independent evolution of the properties in question. It has been argued elsewhere that features such as RNA base modification generally represent the final stage in the evolution of translation (32). If these features have evolved separately in two lines of descent, their common ancestor, lacking them, had a more rudimentary version of the translation mechanism and consequently, could not have been as complex as a prokaryote (6).

With the identification and characterization of the urkingdoms we are for the first time beginning to see the overall phylogenetic structure of the living world. It is not structured in a bipartite way along the lines of the organizationally dissimilar prokaryote and eukaryote. Rather, it is (at least) tripartite, comprising (i) the typical bacteria, (ii) the line of descent manifested in eukaryotic cytoplasm, and (iii) a little

explored grouping, represented so far only by methanogenic bacteria.

The ideas expressed herein stem from research supported by the National Aeronautics and Space Administration and the National Science Foundation. We are grateful to a number of colleagues who have helped to generate the yet unpublished data that make these speculations possible: William Balch, Richard Blakemore, Linda Bonen, Tristan Dyer, Jane Gibson, Ramesh Gupta, Robert Hespell, Bobby Joe Lewis, Kenneth Luehrsens, Linda Magrum, Jack Maniloff, Norman Pace, Mitchel Sogin, Stephan Sogin, David Stahl, Ralph Tanner, Thomas Walker, Ralph Wolfe, and Lawrence Zablen. We thank Linda Magrum and David Nanney for suggesting the name "archaeobacteria."

1. Stanier, R. Y. (1970) *Symp. Soc. Gen. Microbiol.* **20**, 1–38.
2. Margulis, L. (1970) *Origin of Eucaryotic Cells* (Yale University Press, New Haven).
3. Zablen, L. B., Kissel, M. S., Woese, C. R. & Buetow, D. E. (1975) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **72**, 2418–2422.
4. Bonen, L. & Doolittle, W. F. (1975) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **72**, 2310–2314.
5. Bonen, L., Cunningham, R. S., Gray, M. W. & Doolittle, W. F. (1977) *Nucleic Acid Res.* **4**, 663–671.
6. Woese, C. R. & Fox, G. E. (1977) *J. Mol. Evol.*, in press.
7. Sneath, P. H. A. & Sokal, R. R. (1973) *Numerical Taxonomy* (W. H. Freeman, San Francisco).
8. Zuckerkandl, E. & Pauling, L. (1965) *J. Theor. Biol.* **8**, 357–366.
9. Fitch, W. M. & Margoliash, E. (1967) *Science* **155**, 279–284.
10. Fitch, W. M. (1976) *J. Mol. Evol.* **8**, 13–40.
11. Sogin, S. J., Sogin, M. L. & Woese, C. R. (1972) *J. Mol. Evol.* **1**, 173–184.
12. Woese, C. R., Fox, G. E., Zablen, L., Uchida, T., Bonen, L., Pechman, K., Lewis, B. J. & Stahl, D. (1975) *Nature* **254**, 83–86.
13. Fox, G. E., Pechman, K. R. & Woese, C. R. (1977) *Int. J. Syst. Bacteriol.* **27**, 44–57.
14. Uchida, T., Bonen, L., Schaup, H. W., Lewis, B. J., Zablen, L. B. & Woese, C. R. (1974) *J. Mol. Evol.* **3**, 63–77.
15. Zablen, L. B. & Woese, C. R. (1975) *J. Mol. Evol.* **5**, 25–34.
16. Doolittle, W. F., Woese, C. R., Sogin, M. L., Bonen, L. & Stahl, D. (1975) *J. Mol. Evol.* **4**, 307–315.
17. Pechman, K. J., Lewis, B. J. & Woese, C. R. (1976) *Int. J. Syst. Bacteriol.* **26**, 305–310.
18. Bovee, E. C. & Jahn, T. L. (1973) in *The Biology of Amoeba*, ed. Jeon, K. W. (Academic Press, New York), p. 38.
19. Wolfe, R. S. (1972) *Adv. Microbiol. Phys.* **6**, 107–146.
20. Zeikus, J. G. (1977) *Bacteriol. Rev.* **41**, 514–541.
21. Zeikus, J. G. & Bowen, V. G. (1975) *Can. J. Microbiol.* **21**, 121–129.
22. Balch, W. E., Magrum, L. J., Fox, G. E., Wolfe, R. S. & Woese, C. R. (1977) *J. Mol. Evol.*, in press.
23. Fox, G. E., Magrum, L. J., Balch, W. E., Wolfe, R. S. & Woese, C. R. (1977) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **74**, 4537–4541.
24. Kandler, O. & Hippe, H. (1977) *Arch. Microbiol.* **113**, 57–60.
25. Taylor, C. D. & Wolfe, R. S. (1974) *J. Biol. Chem.* **249**, 4879–4885.
26. Cheeseman, P., Toms-Wood, A. & Wolfe, R. S. (1972) *J. Bacteriol.* **112**, 527–531.
27. Pace, B. & Campbell, L. L. (1971) *J. Bacteriol.* **107**, 543–547.
28. Brown, A. D. & Cho, K. Y. (1970) *J. Gen. Microbiol.* **62**, 267–270.
29. Reistad, R. (1972) *Arch. Mikrobiol.* **82**, 24–30.
30. Raff, R. A. & Mahler, H. R. (1973) *Science* **180**, 517–521.
31. Shopf, J. W. (1972) *Exobiology—Frontiers of Biology* (North Holland, Amsterdam), Vol. 23, pp. 16–61.
32. Woese, C. R. (1970) *Symp. Soc. Gen. Microbiol.* **20**, 39–54.

**Anexo 13.** Artículo: Lane, C. E y Archibald, J. M. (2008). The eukaryotic tree of life: endosymbiosis takes its TOL.<sup>13</sup>

## **El árbol eucariota de la vida: la endosimbiosis**

Lane y Archibald (2008)

Resolver la estructura del árbol de la vida eucariota sigue siendo una de las tareas más importantes y desafiantes que enfrentan los biólogos. La noción de seis "supergrupos" eucariotas ha ganado recientemente aceptación, y varios documentos en 2007 sugieren que es posible la resolución de niveles taxonómicos más altos. Sin embargo, en los organismos que adquirieron la fotosíntesis a través de la endosimbiosis secundaria (es decir, eucariota-eucariota), el genoma nuclear del huésped es un mosaico de genes derivados de dos (o más) núcleos, un hecho que a menudo se pasa por alto en los estudios que intentan reconstruir las profundidades. historia evolutiva de eucariotas. La identificación precisa de las transferencias y reemplazos de genes que involucran genomas de donantes y receptores eucariotas representa un desafío potencialmente formidable para la comunidad filogenómica a medida que se secuencian más genomas protistas y crecen conjuntos de datos concatenados.

### **Evolución del árbol eucariota de la vida.**

Una reconstrucción filogenética precisa y bien resuelta de la vida en la Tierra es el objetivo final de la sistemática. Aunque la posibilidad de alcanzar este objetivo es un punto de debate considerable en los procariotas aún podría lograrse para los eucariotas. Un árbol de la vida eucariota (TOL) con un soporte sólido proporcionaría una base importante para la investigación dirigida a comprender la evolución de una miríada de rasgos en este dominio, incluida la adaptación a entornos anaeróbicos y los orígenes de la multicelularidad y la fotosíntesis. En los últimos 50 años, los avances significativos en el muestreo y la metodología de los taxones han aumentado nuestra comprensión de las relaciones evolutivas eucariotas y alterado drásticamente nuestra visión de la diversidad de alto nivel. Esto es especialmente cierto para los eucariotas unicelulares (protistas), que ahora se reconocen como dispersos por todo el árbol en lugar de pertenecer principalmente a un solo clado (por ejemplo, Refs [2,3]). Mientras que los primeros análisis filogenéticos se basaron principalmente en la información contenida dentro de un solo gen (es decir, que codifica el ARNr 18S), y por lo tanto estaban limitados en términos de su resolución (y en algunos casos positivamente engañosos [4]), la revolución genómica ha traído siempre -la cantidad creciente de datos a tener en cuenta sobre la cuestión de la filogenia protista y, más generalmente, las antiguas divergencias entre los linajes eucariotas.

La investigación en la última década ha llevado a la hipótesis de seis "supergrupos" eucarióticos (Fig. 1), erigidos sobre la base de una mezcla ecléctica de datos de secuencia morfológica y molecular [5,6]. La fuerza de la evidencia que respalda estas superasemblajes (resumida en el Glosario adjunto) ha sido objeto de mucho debate [7] y las relaciones entre los supergrupos son en gran parte desconocidas. De hecho, si los datos moleculares pueden resolver con precisión las relaciones entre taxones que divergieron ca. hace mil millones de años no está claro. En los eucariotas fotosintéticos, el problema de los antiguos tiempos de divergencia se ve confundido por el hecho de que el genoma nuclear es un mosaico de genes con diferentes

---

<sup>13</sup> Lane, C. E y Archibald, J. M. (2008). The eukaryotic tree of life: endosymbiosis takes its TOL. *Trends in Ecology and Evolution*, 23(5), 268-275.

historias evolutivas. El progenitor cianobacteriano del plastidio (cloroplasto) en las plantas y algas modernas donó miles de genes procariotas a su huésped eucariota durante la transición inicial del endo-simbionte al orgánulo [8], y los plastidios se diseminaron posteriormente lateralmente por endosimbiosis entre dos células eucariotas. , un proceso conocido como endosimbiosis 'secundaria' [9,10]. En el caso de la endosimbiosis secundaria, el plastidio actúa como un caballo de Troya genético, trayendo consigo el núcleo de un endosimbionte eucariota no relacionado cuyos genes se fusionan y pueden reemplazar a sus contrapartes en el genoma nuclear del huésped. La mezcla y combinación de genes eucariotas que ocurre en el contexto de la endosimbiosis secundaria desafía seriamente nuestra capacidad de inferir con precisión la historia evolutiva de estos organismos. Al mismo tiempo, una comprensión integral del impacto de la endosimbiosis en la estructura y el contenido de los genomas nucleares tiene el potencial de ayudar a nuestros esfuerzos para resolver la estructura del árbol eucariota de la vida.

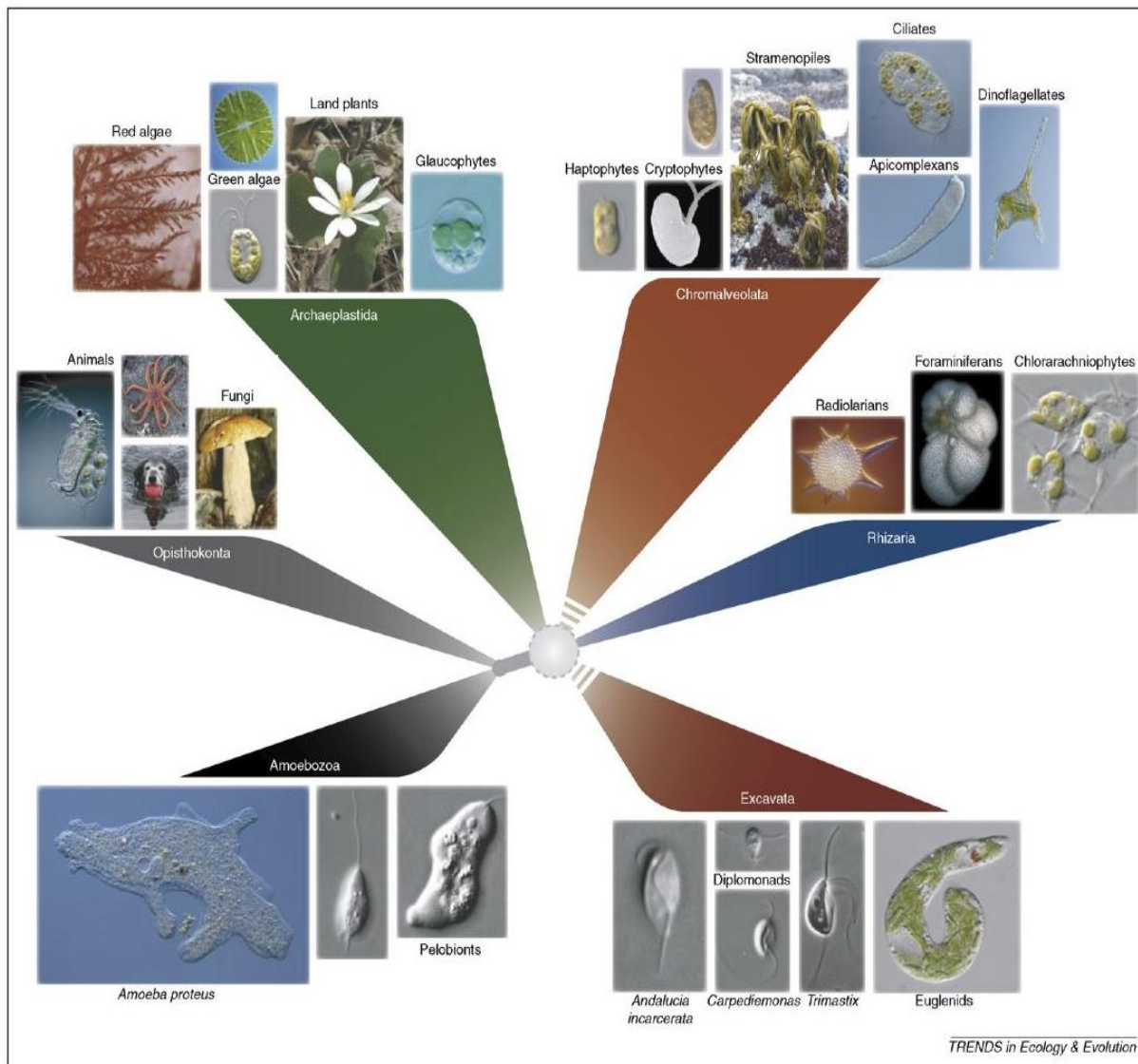


Figura 1. Los seis supergrupos hipotéticos de eucariotas. Actualmente no hay consenso sobre la raíz de los eucariotas o el orden de ramificación entre estos grupos, excepto que estudios recientes indican una relación hermana entre Amoebozoa y Opisthokonta. Las líneas discontinuas en la base de Chromalveolata y Excavata indican incertidumbre con respecto a la monofilia de estos conjuntos. Las imágenes muestran representantes de algunos de los principales linajes dentro de cada supergrupo. Las imágenes se atribuyen a

lo siguiente: Chromalveolata: haptófito y criptófitos por el laboratorio Archibald; stramenopile por G.W. Saunders apicomplexan por B.S. Leander ciliado y dinoflagelado de Visuals Unlimited (VU). Archaeplastida: alga roja de C. Bates (<http://www.coastalimageworks.com>); algas verdes del laboratorio Archibald y de VU; planta de tierra de J. Palmer; glaucophyte por D. Patterson, con permiso de <http://microscope.mbl.edu>. Rhizaria: radiolarian y foraminiferan de VU; clorarachniophyte por el laboratorio Archibald. Excavata: euglenid por D. Patterson, con permiso de <http://microscope.mbl.edu>; excavaciones restantes por A.G.B. Simpson Amoebozoa: *Amoeba proteus* de VU; pelobionts de A.G.B. Simpson Opisthokonta: Animales de W. F. Doolittle, C. Bates (<http://www.coastalimageworks.com>) y VU; hongo de G. Burger.

### Glosario

Alveolata: compuesta por los apicomplejos, algas dinoflageladas y ciliados (por ejemplo, Tetrahymena), un trío cuya ascendencia común compartida está muy bien apoyada en las filogenias de genes nucleares. Ameozoos: compuestos de linajes de organismos unicelulares, generalmente bien apoyados en filogenias moleculares; sin apomorfías morfológicas bien definidas, aunque la mayoría de los linajes producen pseudopodios que son anchos (lobosos).

Archaeplastida: incluye todos los linajes primarios que contienen plastidios, y está bien respaldado tanto en filogenias de genes nucleares a escala plastidiana como filogenómica. La evidencia molecular del origen único de las algas rojas, las algas verdes y los plastidios glaucófitos está respaldada por la estructura de los genomas de los plástidos y el complejo de recolección de luz.

Cromalveolata: colección predominantemente unicelular de organismos fotosintéticos y no fotosintéticos unidos por la "hipótesis cromalveolada" (Cuadro 2), que establece que los plástidos de los cromistas y alveolatos son el producto de una única endosimbiosis secundaria en el ancestro común de los dos grupos. El apoyo a este grupo se basa en gran medida en caracteres relacionados con plastidios entre subconjuntos de sus linajes componentes, sin un solo carácter o filogenia que haya demostrado unir a todos sus miembros hipotéticos.

Cromistas: incluyen criptófitos y haptófitos, dos grupos predominantemente fotosintéticos de algas y los estramenopiles, un grupo de especies de algas unicelulares (por ejemplo, diatomeas) y multicelulares (por ejemplo, algas marinas) junto con una amplia gama de linajes no fotosintéticos de vida libre y parásitos.

Reemplazo del gen endosimbótico (EGR): un caso específico de EGT, donde un gen endosimbote se transfiere al núcleo del huésped y reemplaza la función de un gen codificado nuclearmente. Transferencia de genes endosimbóticos (EGT): genes transferidos desde el genoma de un endosimbote al núcleo del huésped, donde pueden degradarse, asumir funciones nuevas, reemplazar genes del huésped (EGR) o adquirir una señal o señales de orientación para que su proteína los productos se vuelven a dirigir al compartimento del endosimbote.

Excavata: abarca eucariotas unicelulares que comparten un surco de alimentación ventral distintivo y una serie de características del citoesqueleto (y sus parientes según lo determinado por medios moleculares). La ascendencia común del grupo en su conjunto es, en el mejor de los casos, débilmente respaldada por datos moleculares publicados.

Etiqueta de secuencia expresada (EST): una lectura de secuenciación única de un ADNc derivado de ARNm clonado, aislado de un organismo. Se pueden ensamblar múltiples lecturas para producir la secuencia completa de una transcripción madura, que luego se puede usar en lugar de la copia genómica de la secuencia en análisis filogenéticos. Opisthokonta: incluye animales, hongos y sus parientes unicelulares (como Capsaspora y choanoflagelados), que comparten (o se derivan de organismos con) un flagelo posterior único y están fuertemente respaldados por datos de secuencia, incluida una inserción compartida única en los genes que codifican Elongación Factoriza 1-a y enolasa.

Rhizaria: un grupo unido solo por filogenias moleculares. Los miembros incluyen organismos ecológicamente importantes y abundantes, como los foraminíferos y los cercozoos, que en gran parte están poco estudiados.

*Recuadro 1. El nacimiento y la propagación de la fotosíntesis eucariota.*

Los plastidios (cloroplastos) son los orgánulos de eucariotas fotosintéticos que recogen la luz y se derivan de cianobacterias de vida libre por el proceso de endosimbiosis. En general, se acepta que los plastidios evolucionaron de las cianobacterias solo una vez durante la historia de la vida, en un ancestro común compartido por algas verdes (y plantas), algas rojas y algas glaucófitas (revisado por Ref. [36]). Sin embargo, existe un debate sobre cuándo ocurrió esto (p. Ej., Refs. [46,47]), y algunos autores (p. Ej., Refs. [48–50]) creen que la noción de múltiples eventos endosimbióticos primarios no debe descartarse.

Después de la diversificación de los tres linajes que contienen plastidios "primarios", los plastidios se extienden lateralmente a través del árbol de eucariotas a través del proceso de endosimbiosis "secundaria", es decir, la envoltura y retención de un fotótrofo eucariota por un huésped eucariota no fotosintético no relacionado. El número de veces que esto ha ocurrido es un tema de debate considerable, pero las hipótesis más reconocidas proponen tres o más eventos. Dos linajes no relacionados, los euglenidos (Excavata) y los clorarachniophytes (Rhizaria), contienen plastidios de ascendencia de algas verdes [21], mientras que los plastidios en el supergrupo Chromalveolata son, con la excepción de algunos dinoflagelados (abajo), descendientes de un alga roja [51]. La evidencia morfológica del origen eucariota de los plastidios en estos tres grupos proviene de la presencia de tres o cuatro membranas que rodean a los plastidios secundarios (versus dos membranas alrededor de los plastidios primarios) y los núcleos plastidasociados remanentes (nucleomorfos) que existen en clorarachniophytes y cryptophytes (revisado en Ref. [52]). Los organismos que albergan plastidios secundarios son, por lo tanto, el equivalente biológico de las muñecas rusas anidadas: una cianobacteria encerrada dentro de un eucariota, envuelta dentro de un segundo eucariota (Fig. 2). Para complicar aún más las cosas, algunas algas dinoflageladas han reemplazado su plastidio con un plastidio 'terciario', robado de otros cromalveolatos, incluidos los criptófitos, diatomeas y haptófitos, e incluso un plastidio de algas verdes en un caso de endosimbiosis secundaria en serie (ver Refs [37,53] y referencias en el mismo). Por lo tanto, aunque todos los plástidos probablemente se remontan a un solo evento endosimbiótico primario, se han propagado a través de la diversidad eucariota varias veces por un proceso similar.

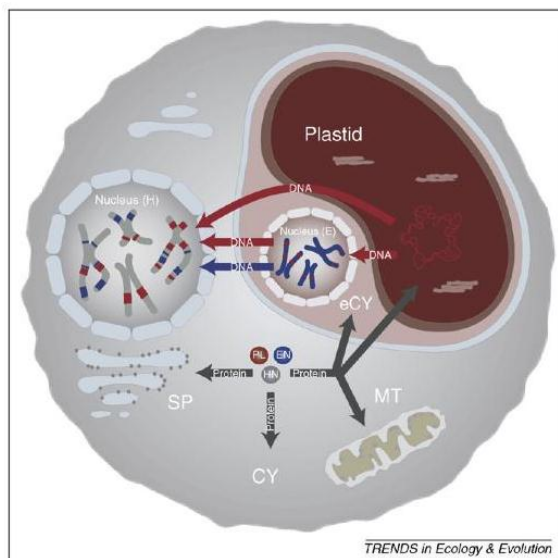


Figura 2. Endosimbiosis y el flujo de información genética en eucariotas fotosintéticos. Un alga secundario genérico que contiene plastidio con flechas que indican el movimiento de los genes del genoma del plastidio al genoma nuclear del endosimbionte, del genoma del plastidio al genoma nuclear de la célula huésped (H) y de los genomas del plastidio y el endosimbionte nuclear (E) al genoma nuclear del huésped. El resultado de esta transferencia de genes es que el genoma nuclear de la célula huésped es un mosaico de ADN

cianobacteriano (rojo), nucleomorfo (azul) y huésped (gris). Los productos proteicos de los genes derivados de estos tres genomas (bolas de colores; PL = plastidio; EN = endosimbionte; HN = núcleo del huésped) tienen el potencial de asumir roles en varios compartimentos celulares, incluido el citosol (CY), mitocondria (MT) y vía secretora (SP) de la célula huésped, así como el citosol de plastidios y endosimbiontes (eCY). El movimiento de los genes asociados con las mitocondrias del endosimbionte y la célula huésped se ha omitido para mayor claridad, al igual que los genes derivados de la transferencia lateral de genes (ver texto principal).

### La impronta de la endosimbiosis

El proceso de endosimbiosis ha sido responsable de algunos de los eventos más significativos en la evolución eucariota. Los ejemplos más celebrados son las endosimbiosis que dieron lugar a plastidios y mitocondrias. En el caso de los plastidios, una gran cantidad de datos bioquímicos y moleculares indican que un pariente procariota de las cianobacterias modernas fue engullido y retenido por un eucariota heterotrófico [11] y transformado en el orgánulo fotosintético visto en las plantas y algas de hoy en día (recuadro 1) La integración de un endosimbionte procariota en la maquinaria celular de un eucariota es un proceso complejo e implica modificaciones sustanciales en la composición genética de ambas células [10]. Todos los orgánulos conocidos de origen endosimbiótico codifican solo una fracción de los genes presentes en sus antecedentes procariotas, lo que significa que decenas de genes que alguna vez fueron esenciales para el procariota de vida libre, pero obsoletos en el contexto de la vida intracelular (por ejemplo, genes para la locomoción o ciertas rutas metabólicas), se pierden, ya sea por transferencia al núcleo del huésped o por degradación genómica [12]. Incluso los genomas de plastidios más ricos en genes contienen como máximo 250 genes, un orden de magnitud menor que la mayoría de las cianobacterias de vida libre [13]. A medida que la capacidad genética del endosimbionte procariota se reduce durante la transición de la célula de vida libre a un orgánulo totalmente integrado, la célula huésped se convierte en un depósito de información genética a través de la Transferencia de Genes Endosimbióticos (EGT) [8]. Muchos de los genes transferidos al núcleo adquieren señales de orientación, lo que permite que sus productos sean transportados de regreso al plastidio para realizar funciones vitales [10]. Sin embargo, los genes transferidos también pueden asumir funciones novedosas en la célula eucariota, a veces incluso reemplazando las versiones eucariotas de las proteínas que codifican.

Los estudios genómicos comparativos de cada uno de los tres linajes de eucariotas que contienen plastidios "primarios" (Cuadro 1) han revelado cuán significativa es la transferencia de genes de endosimbionte a núcleo. Un estudio de 2002 del genoma nuclear de la planta terrestre *Arabidopsis thaliana* sugirió que una fracción inesperadamente grande de sus genes ( $1700/9368 = 18\%$ ) se derivan del progenitor cianobacteriano del plastidio [8]. Estudios más recientes que utilizan diferentes enfoques han producido estimaciones más bajas de EGT en *A. thaliana* [14, 15] y proporcionalmente menos genes de origen cianobacteriano parecen residir en el genoma nuclear del alga verde *Chlamydomonas reinhardtii* (6%) [16], alga roja *Cyanidioschyzon merolae* (12.7%) [14] y la alga glaucófita *Cyanophora paradoxa* (10.8%) [17]. En cualquier caso, está claro que los genes derivados de endosimbiontes han contribuido sustancialmente al núcleo de la célula huésped. En el caso de *A. thaliana*, se predice que más de la mitad de los genes de origen cianobacteriano putativo desempeñan funciones no relacionadas con el plastidio [8], lo que indica que estos genes han asumido nuevas funciones o han reemplazado genes nucleares (denominado reemplazo de gen endosimbiótico - cemento; EGR). Un ejemplo específico de EGR es la fosfoglicerato quinasa (PGK) [18], que se produce en dos copias dentro de las plantas terrestres, con un homólogo codificado por plastidio que funciona en el ciclo de Calvin y una copia codificada por el núcleo involucrado en la glucólisis en el citosol. El análisis filogenético

muestra que ambos se derivan de las cianobacterias, lo que indica que la copia plástida se transfirió al núcleo y se duplicó antes de reemplazar el gen eucariota residente que codifica PGK en el núcleo [18]. Los genes transferidos del genoma de los plástidos al núcleo son, en su mayor parte, fácilmente identificables debido a su afinidad filogenética por las cianobacterias. Sin embargo, en eucariotas que han adquirido fotosíntesis secundariamente a través de la inmersión de un alga primaria que contiene plastidios, el impacto de EGT es mucho más sutil pero no menos significativo.

### **El impacto de la endosimbiosis secundaria en la evolución del genoma**

Tres de los seis supergrupos eucariotas (Fig. 1), Rhizaria, Excavata y Chromalveolata (ver Glosario), incluyen organismos con plastidios secundarios (Cuadro 1). Dentro de Rhizaria y Excavata, los clorarachniophytes y euglenids son los únicos linajes fotosintéticos, respectivamente, y ambos contienen plastidios secundarios de algas verdes [19,20]. Como se describe en el Cuadro 1, los plastidios secundarios han evolucionado en múltiples ocasiones a partir de endosimbiontes de algas rojas y verdes. Mientras que los clorarachniophytes y los euglenidos adquirieron plastidios independientes entre sí y son miembros de supergrupos predominantemente no fotosintéticos [21,22], la mayoría de los miembros portadores de plastidios del supergrupo polémico Chromalveolata poseen plastidios secundarios derivados de algas rojas, que se han tomado como un signo de monofilia. del grupo (la 'hipótesis cromalveolada').

A diferencia de la endosimbiosis primaria, la endosimbiosis secundaria implica la integración genética de dos eucariotas. En este caso, el núcleo del huésped es bombardeado con genes no solo del genoma del plastidio sino también del núcleo del endosimbionte, que a su vez ya contiene genes derivados de cianobacterias que se transfirieron previamente del plastidio primario (Fig. 2). De hecho, los casos claros de EGR que involucran genes nucleares para proteínas dirigidas a plastidios han proporcionado algunas de las pruebas más convincentes en apoyo de la hipótesis del cromalveolado [23,24]. Los análisis a escala del genoma de organismos secundarios que contienen plastidios también han comenzado a revelar el alcance de EGT. Por ejemplo, los conjuntos de datos de etiqueta de secuencia expresada (EST) del haptófito *Emiliana huxleyi* y el dinoflagelado *Karenia brevis* han revelado 19 y 17 casos putativos de EGT, respectivamente [25,26]. La secuencia del genoma nuclear de la diatomea *Thalassiosira pseudonana* [27] codifica 1057 genes (de 11 242 = 9,4%) que muestran homología de secuencia solo con plantas y algas y 271 genes con solo homólogos cianobacterianos. Además, un análisis de tecnologías ecológicamente racionales de *Euglena gracilis* (una excavación fotosintética; Fig. 1) encontró que el 22% de los 259 genes distribuidos a nivel mundial mostraron afinidad filogenética por linajes primarios que contienen plastidios [28], lo que sugiere que estos genes representan casos de EGT eucariota-eucariota y, posiblemente, EGR. Los casos de transferencia de genes también pueden indicar una ascendencia fotosintética para los organismos no fotosintéticos, como el parásito stramenopile *Phytophthora ramorum* (el agente causante del tizón irlandés de la papa), que no contiene un plastidio. Sorprendentemente, la identificación de 855 genes de supuesta alga roja o ascendencia cianobacteriana en el genoma nuclear de *P. ramorum* [29] demuestra que los genes transferidos pueden asumir muchas funciones en su nuevo contexto genómico, sin relación con los procesos fotosintéticos.

Por lo tanto, con respecto a la filogenética eucariota a gran escala, la pregunta es, ¿cómo detectamos los eventos EGT y EGR de eucariota a eucariota y los excluimos de nuestros análisis para que solo los genes que reflejan con precisión la historia del linaje de la célula huésped sean ¿incluido? Los genes de origen procariota se identifican fácilmente, asumiendo el tiempo transcurrido desde que su transferencia no ha borrado la señal filogenética que los une a otros procariotas. Sin embargo, en casos de transferencia o reemplazo nuclear de endosimbionte a huésped, el origen eucariota del ADN extraño hace que su detección



sea significativamente más difícil. A menos que la transferencia sea reciente y se conozca la posición evolutiva del núcleo huésped, es poco probable que los casos de EGT o EGR de eucariota a eucariota sean obvios. Además, es probable que un gen eucariota sea más probable que se exprese y funcione si se transfiere al núcleo del huésped que un gen procariota, lo que sugiere que la tasa de EGT y EGR eucarióticos exitosos podría ser más alta que la de los genes derivados de mitocondrias o de plastidios. Si el número de genes eucariotas 'extraños' en los genomas de organismos secundarios que contienen plastidios (o que anteriormente contenían) es significativo, pero difícil de detectar, entonces la historia evolutiva del organismo huésped sería muy difícil de resolver, debido a la presencia de genes con dos (o más) historias evolutivas.

Para empeorar las cosas, la detección de EGT y EGR eucariotas debería ser aún más difícil, debido a las tasas evolutivas específicas del linaje o la pérdida de genes, cuando el muestreo de taxones para un grupo de interés es bajo y las hipótesis que se prueban implican profundas divergencias. Las filogenias eucariotas a menudo incluyen solo un pequeño número de taxones representativos de linajes como Rhizaria o algunos de los filamentos cromalveolados. Además, los taxones utilizados para representar a los grupos principales en los análisis filogenómicos son a menudo organismos altamente reducidos o simplificados, cuyo genoma podría no ser un proxy apropiado para la mayoría del linaje. Esto es tanto un artefacto de los organismos de focalización que impactan a los humanos (por ejemplo, patógenos) como la necesidad de elegir genomas pequeños para hacer que los proyectos sean manejables. Aunque esta situación está mejorando, y los datos EST a menudo se pueden usar en lugar de genomas completos, actualmente hay un conjunto extremadamente limitado de organismos disponibles para comparar. En los casos en que el plastidio secundario es de origen de algas rojas, se deben hacer comparaciones de todo el genoma con el único genoma nuclear de algas rojas que se ha secuenciado por completo, el de *Cyanidioschyzon merolae* [30]. Aunque una secuencia del genoma de una segunda alga roja está casi terminada (ver el Proyecto del Genoma de *Galdieria sulphuraria*, <http://genomics.msu.edu/galdieria/about.html>), ambos genomas provienen de organismos unicelulares altamente reducidos, adaptados a vida a altas temperaturas y perteneciente a un solo orden (Cyanidiales) entre el subfilo divergente temprano Cyanidophytina [31]. De las aproximadamente 6000 especies reconocidas de algas rojas, solo cuatro están clasificadas en este subfilo. Por lo tanto, a través de los efectos combinados del muestreo limitado de taxones, la variación específica de linaje en las tasas evolutivas y los sesgos de composición en las secuencias de ADN y proteínas [32], los datos genómicos de algas rojas disponibles actualmente hacen que la detección confiable de EGT en genomas cromalveolados sea un desafío significativo.

A pesar de la gran cantidad de evidencia que demuestra que los genes derivados de endosimbiontes se establecen fácilmente en el genoma nuclear de su huésped, que sepamos, solo unos pocos estudios han investigado a fondo las transferencias de buena fe de un gen eucariota de un núcleo secundario de endosimbionte a un núcleo huésped. Por ejemplo, dos estudios han demostrado de manera convincente que el genoma nuclear de criptofitos posee un gen que codifica la actina que se deriva del núcleo de algas rojas que entró con el plastidio cromalveolado [33,34]. En este caso, tanto las copias del huésped como las del endosimbionte persisten, pero los casos de EGR completo a menudo pueden pasar los métodos de detección filogenética comúnmente utilizados para detectar genes anómalos en grandes conjuntos de datos, a menos que el tema de la EGR secundaria se aborde específicamente [35].

## **El supergrupo Chromalveolata: un patio de recreo para la evolución de la fotosíntesis**

El supergrupo Chromalveolata está compuesto por los "cromistas" y Alveolata, cuyos orígenes evolutivos son objeto de un debate activo. Los cromalveolatos son un conjunto diverso de linajes principalmente unicelulares, y la compleja distribución de los plástidos entre los taxones cromalveolados ha alimentado el debate sobre la monofilia de estos organismos (Cuadro 2). De los cromistas, los criptofitos y los haptófitos son dos grupos predominantemente fotosintéticos de algas, y los stramenopiles son un grupo de especies de algas unicelulares (p. Ej., Diatomeas) y multicelulares (p. Ej., Algas marinas) junto con una amplia gama de linajes no fotosintéticos de vida libre y parásitos (Fig. 1 ) De los Alveolata, los dinoflagelados son microalgas que son conocidas por producir mareas rojas, pero aproximadamente la mitad de los dinoflagelados carecen de plastidios. Los Apicomplexa (un conjunto principalmente parásito, que incluye el agente causante de la malaria) han perdido sus capacidades fotosintéticas, aunque las especies de géneros médicamente importantes como Plasmodium y Toxoplasma retienen los plástidos en una forma muy reducida (el apicoplast) que, en conjunto, parecen ser de origen de algas rojas [36]. Por el contrario, los ciliados son un linaje exclusivamente libre de plastidios. Aunque el origen común de los plastidios cromalveolados de un solo evento endosimbiótico es polémico, en general se acepta que todos menos algunos de los taxones fotosintéticos que caen bajo esta etiqueta contienen plastidios derivados de un endosimbionte de algas rojas. Un puñado de dinoflagelados ha tomado claramente plastidios de otros linajes cromalveolados en eventos endosimbióticos terciarios (por ejemplo, *Dinophysis*, *Karenia*, *Kryptoperidinium*), y el plastidio de algas verdes de *Lepidodinium* es una instancia de endosimbiosis secundaria en serie (ver Ref. [37] y referencias allí.)

### *Recuadro 2. La controversia cromalveolata*

Salvo por las características asociadas a los plastidios, faltan caracteres celulares que respalden la hipótesis cromalveolata (es decir, un origen monofilético de Chromalveolata), al igual que la evidencia filogenética basada en secuencias de ADN nuclear. Los análisis filogenéticos moleculares de genes nucleares que son consistentes con Chromalveolata solo han incluido alveolatos (cilios, dinoflagelados y apicomplexanos) y estramenopilas [54] y los análisis de genes de plastidios, o genes codificados en nucleares para proteínas dirigidas a plastidios, han proporcionado diversos grados de apoyo para la monofilia de los cromistas + dinoflagelados [47,53]. Los críticos de la hipótesis del cromalveolado señalan que tales análisis solo muestran una ascendencia común del plastidio, no necesariamente los linajes del huésped en el que residen [55,56]. Por lo tanto, se han sugerido modelos alternativos de transferencia de plastidios entre taxones cromalveolados, invocando específicamente un modelo de transferencia terciaria del plastidión haptófito [55,56]. Esta hipótesis alternativa sugiere que los plástidos derivados de algas rojas de los "cromalveolatos" están unidos por transferencia horizontal, no por herencia vertical de un antepasado común. Sin embargo, se han descrito reemplazos de genes endosimbióticos de genes codificados nuclearmente para proteínas dirigidas a plastidios o derivadas de plastidios que unen taxones fotosintéticos de cromalveolato [23,24]. Aunque se han propuesto explicaciones alternativas para el patrón observado de transferencias de genes [55], el número de tales casos continúa creciendo con más datos.

Central para el debate de la cromofilaveola monofilia es el peso que se pone en la ganancia de plastidio versus la pérdida de plastidio. La razón principal para proponer monofilia cromalveolata es que reduce en gran medida el número de endosimbiosis secundarias necesarias para explicar la diversidad fotosintética actual, una posición que se ha argumentado previamente en función de la supuesta dificultad asociada con la integración genética del huésped y el endosimbionte [51]. ] Si la ganancia de plastidios es mucho más difícil que la pérdida de plastidios, parece más plausible hipotetizar una adquisición de plastidios única en el ancestro común de todos los cromalveolatos, y la consiguiente pérdida en los cilios, algunos apicomplejos y miembros que divergen temprano de muchos linajes cromalveolados (Fig. 3a). Una visión alternativa es que los orgánulos son inherentemente más difíciles de perder que de ganancia [56,57], debido al hecho de que muchos parásitos de apicomplexano no fotosintéticos retienen un apicoplast (un plastidio

remanente utilizado para funciones celulares como la biosíntesis de ácidos grasos, hem y aminoácidos). ) y el hecho de que se han encontrado derivados de la mitocondria en todos los casos en que se ha investigado a fondo un organismo supuestamente amitocondriato [4]. Sin embargo, la evidencia directa de la pérdida de plastidios del apicomplexan *Cryptosporidium* y el stramenopile *Phytophthora* (por ejemplo, Refs [29, 41, 58]) exige una reevaluación de este argumento. Además, la descripción de un plastidio reducido en el dinoflagelado *Perkinsus* [59], se presume que es homólogo al apicoplast, y el descubrimiento de *Chromera velia*, un alveolado fotosintético estrechamente relacionado con los apicomplejos [42], sugiere que el ancestro común de los dinoflagelados y apicomplexans era un fotótrofo, empujando aún más las raíces portadoras de plastidios de los linajes cromalveolados e indicando la pérdida posterior de plastidios.

### **Barajar supergrupos**

En 2007, una serie de documentos de grupos de investigación independientes comenzaron a separar a los cromistas (criptofitos + haptófitos + estramenopilas) y el concepto de cromalveolado en su conjunto o, al menos, complicar significativamente la hipótesis. Varios estudios [35,38,39] resolvieron topologías que separan a los cromistas y, en cambio, unen estramenopiles con Alveolata con un apoyo significativo. El hallazgo es apoyado independientemente por un reemplazo del gen *rpl36* en el plastidio de los criptofitos y los haptófitos, lo que sugiere que estos dos linajes comparten un ancestro común [40]. Sin embargo, inesperadamente, en los análisis que incluyeron miembros de Rhizaria [35,39], este supergrupo se resolvió dentro de los cromalveolatos, ya sea como hermana de stramenopiles + alveolates, con exclusión de cryptophytes + haptophytes, o específicamente hermana de stramenopiles (Fig. 3b). Sin embargo, en un caso [35], los datos no pudieron rechazar una topología que incluye un origen monofilético de cromalveolatos (excluyendo Rhizaria).

Si los taxones cromalveolados comparten un ancestro común (Cuadro 2), la resolución del supergrupo Rhizaria dentro de Chromalveolata no solo complica las hipótesis con respecto a la evolución de los plastidios secundarios (Fig. 3a), sino que también exige que el antepasado de Rhizaria albergue una alga roja. Plastid derivado. Específicamente, el plastidio de algas rojas tendría que haber sido adquirido antes de la división entre el clavo haptófito + criptofito de los alveolatos + - stramenopiles + Rhizaria (Fig. 3b). Los plastidios probablemente se habrían perdido, independientemente, en Rhizaria, algunos stramenopiles, ciliados, dinoflagelados tempranos divergentes (por ejemplo, *Oxyrrhis*) y muchos o la mayoría de los apicomplejos [39]. Finalmente, la posterior absorción de un endosimbionte de algas verdes en el ancestro de los clorarachniophytes produciría la distribución de los plastidios observados hoy (Fig. 3b). Al igual que la hipótesis cromalveolada original (Cuadro 2), este escenario requeriría que la pérdida de plastidio sea mucho más común que la ganancia. Aunque se desconoce la prevalencia de la pérdida de plastidios (en oposición a la pérdida de fotosíntesis) entre los eucariotas, los genomas nucleares de dos especies de *Phytophthora* [29] (stramenopiles) y el apicomplexan *Cryptosporidium* [41] codifican genes derivados de plastidios, a pesar de que estos organismos carecen de plastidios, una indicación de al menos dos casos de pérdida de plastidios en los antepasados de estos diferentes organismos. Además, la eucariota fotosintética recientemente descubierta *Chomera velia* [42], que está estrechamente relacionada con los apicomplejos, indica fuertemente un ancestro fotosintético compartido tanto de Apicomplexa como de dinoflagelados y la consiguiente pérdida de los miembros que carecen de plastidios de estos grupos.

Si la nueva posición de Rhizaria como parte de Chromalveolata refleja la verdadera historia evolutiva de este linaje, uno podría predecir que los genes de ascendencia de algas rojas podrían persistir en los genomas nucleares de este grupo como restos de los genomas de algas rojas que estaban presentes en el ancestro común rizariano. Curiosamente, los genes de plastidios derivados de algas rojas se descubrieron en el

genoma nuclear de los rizáceos *Bigelowiella natans* que contienen plastidios de algas verdes [43], y se interpretaron como adquiridos por transferencia lateral de genes en lugar de heredados verticalmente de un plastidio que contiene algas rojas. antepasado. Pronto estará disponible una secuencia completa del genoma para *B. natans* (<http://www.jgi.doe.gov>) y permitirá evaluar si esta 'huella' de algas rojas es (al menos en parte) el resultado de la antigua transferencia de genes endosimbióticos. Sin embargo, la mayoría de los Rhizaria son recalcitrantes a la experimentación de laboratorio, y las cantidades significativas de datos de secuencia de diversos miembros de este linaje tardarán en llegar. En cualquier caso, si los análisis finalmente muestran que dos (o más) plastidios distintos fueron alojados por los antepasados de organismos existentes, como se ha demostrado previamente en algunos dinoflagelados (ver Ref. [37]), entonces determinar la historia orgánica de tales eucariotas podría ser aún más difícil de lo que se aprecia actualmente.

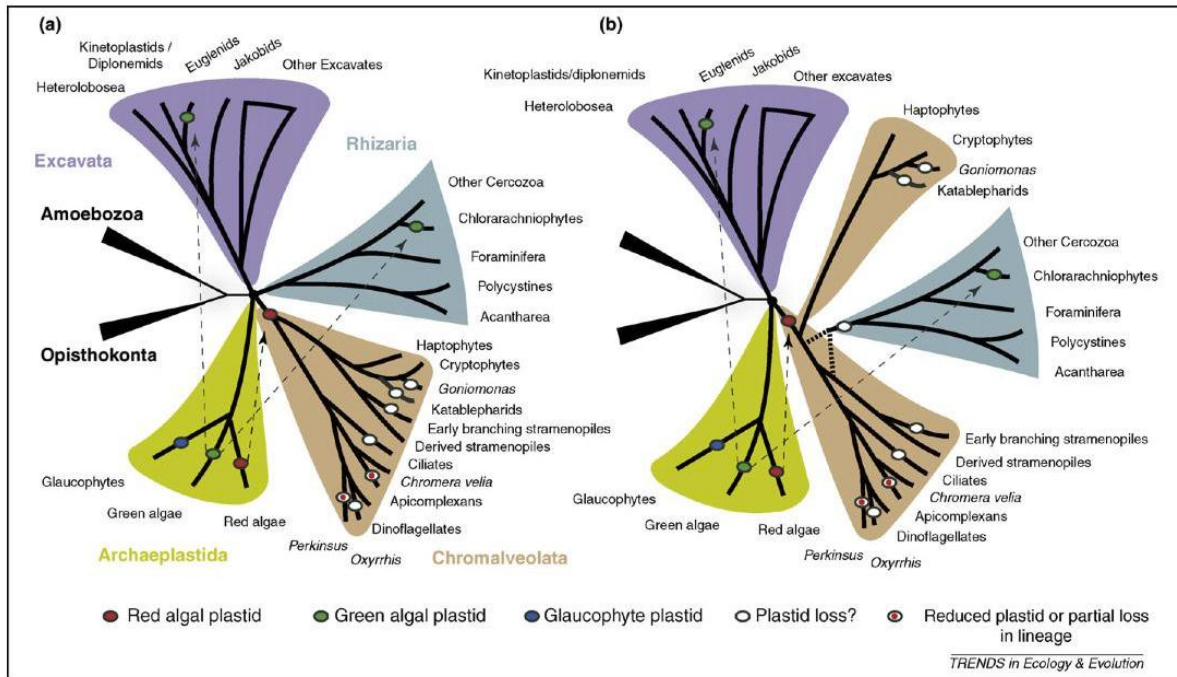


Fig. 3. Dos hipótesis para explicar la distribución de plastidios secundarios, basados en escenarios competitivos de evolución eucariota. Un plastidio secundario derivado de algas verdes ha sido adquirido por dos linajes separados, en eventos endosimbióticos independientes (líneas de trazos finos). (a) Se produjo una única endosimbiosis de algas rojas en el ancestro común de Chromalveolata, que requirió múltiples pérdidas de plastidios en la base de los diversos linajes no fotosintéticos. (b) Si Rhizaria evolucionó desde dentro de los cromalveolatos, es más parsimonioso suponer que el plastidio secundario de alga roja se perdió antes de la diversificación de este linaje. Un plastidio secundario de alga verde ha sido adquirido por clorarachniophytes más recientemente.

### ¿Esperanza filogenética a la luz de EGT?

Aunque nos hemos centrado en los cromalveolatos e ignorado el papel potencialmente significativo de la transferencia lateral de genes en la evolución eucariota (p. Ej., Ref. [44]), la realidad de EGT y sus implicaciones filogenéticas se puede extender a muchos de los supergrupos eucariotas. Las relaciones dentro y entre los taxones cromalveolados y rizarianos no solo son importantes para comprender un componente importante del árbol de la vida, sino también para comprender la evolución de los orgánulos y las posibles complicaciones de EGT y EGR. En la superficie, parecería que la resolución taxonómica en los niveles más profundos de divergencia eucariota es posible si se utilizan suficientes datos. Sin embargo, a

medida que los biólogos intentan resolver relaciones más profundas dentro y entre los supergrupos eucariotas, los artefactos filogenéticos se ven confundidos por los importantes tiempos de divergencia entre los linajes en estudio. Los casos de transferencias y reemplazos de genes también complican las cosas, y aunque los conjuntos de datos filogenómicos se seleccionan de manera rutinaria para detectar genes con afinidades procariotas, el enorme potencial de EGR eucariotas en linajes que albergan (o han albergado) endosimbiontes secundarios generalmente se pasa por alto.

Los recientes avances metodológicos han permitido examinar de manera sistemática y eficiente la señal filogenética de genes separados en un genoma o en conjuntos de datos multigénicos (Cuadro 3). Por ejemplo, el programa Concatepillar [45] separa genes en un conjunto de datos multilocus basado en comparaciones por pares de congruencia (Cuadro 3), identificando potencialmente instancias de EGT y EGR. En un caso de prueba, cuando se aplica a un conjunto de datos de 60 genes de proteínas de traducción conservadas en todo el eucariota, Concatepillar identificó tres conjuntos de datos de 35, 15 y 10 genes, con el conjunto de datos de 15 genes recuperando una relación hermana entre stramenopiles y el alga roja *Porphyra*, como se predeciría en el caso de EGR [45]. Si este patrón es válido a mayor escala, entonces el impacto de EGT y EGR en linajes con ascendencia fotosintética podría ser mucho mayor de lo que se aprecia actualmente, y los estudios empíricos serán esenciales para determinar la medida en que los genes extraños han invadido los genomas nucleares de estos organismos. Sin embargo, la conciencia del alcance de este fenómeno estimulará a los investigadores a dar cuenta de ello.

Además, las limitaciones del muestreo de taxones, que han obstaculizado la exploración en profundidad de EGT, se están convirtiendo en un problema menor a medida que se publican nuevos datos. Más secuencias de genoma de algas rojas pronto proporcionarán los datos para explorar mejor los genomas cromalveolados para los genes transferidos, y un fuerte aumento en el número de secuencias nucleares de cromalveolado está haciendo realistas las comparaciones genómicas por pares. Irónicamente, aunque su potencial para introducir ruido en los estudios filogenéticos es enorme, los casos de EGR y EGT pueden usarse como caracteres derivados en apoyo de la ascendencia común entre dos linajes (por ejemplo, referencias [23, 24, 40]). Es imperativo que la comunidad filogenética continúe mejorando los métodos para la detección de genes extraños que residen en genomas nucleares si se quiere lograr la resolución de las divergencias evolutivas eucariotas antiguas.

### *Recuadro 3. Métodos emergentes de detección de EGT y EGR*

Hasta hace poco, la única forma de detectar transferencias de genes endosimbióticos (EGT) y reemplazos (EGR) era hacer árboles genéticos individuales para cada gen de interés y comparar manualmente sus topologías. Con conjuntos de datos modernos que a menudo superan las 100 secuencias de proteínas por taxón, dispuestas de extremo a extremo (concatenadas) como una secuencia grande, este proceso puede ser extremadamente lento y laborioso. Por esta razón, los investigadores a menudo han tenido que confiar en el supuesto de que la señal "verdadera" abrumará cualquier ruido en los datos causado por la proteína ocasional con un historial filogenético discordante. Afortunadamente, han comenzado a surgir nuevos métodos en respuesta al creciente reconocimiento de que EGT y EGR son importantes y que existe una necesidad crítica de detectar y comprender señales conflictivas en los conjuntos de datos.

PhyloSort [16] es un método automatizado para investigar conjuntos de datos de genomas a escala gen por genoma para patrones filogenéticos anómalos. El programa se puede utilizar para evaluar la salida de las "tuberías" filogenómicas, como PhyloGenie [60], en busca de genes que muestren un patrón filogenético congruente con un grupo monofilético definido por el usuario. Al buscar en una colección de árboles de entrada de un solo gen una relación de interés, los usuarios pueden enfocarse rápidamente solo en aquellos genes que respaldan una hipótesis filogenética particular.

El programa Concaterpillar es un método basado en la razón de verosimilitud diseñado para evaluar la congruencia entre loci en conjuntos de datos concatenados mediante agrupación jerárquica [45]. Concaterpillar realiza comparaciones de la razón de probabilidad por pares para todos los loci de forma iterativa, combinando las proteínas con la razón de probabilidad más baja en cada paso y considerándolas como un solo locus para los pasos posteriores. De esta manera, el programa crea conjuntos de datos de proteínas basados en la similitud de su señal filogenética hasta que se hayan considerado todos los loci o una comparación exceda el nivel de razón de probabilidad definida por el usuario. Los conjuntos de datos resultantes se pueden analizar de forma independiente, dando al usuario el potencial de separar las diversas señales filogenéticas competidoras en los datos, en lugar de conformarse con un árbol basado en una mezcla de información conflictiva. En resumen, las herramientas filogenéticas como Concaterpillar y PhyloSort están allanando el camino para que los investigadores aborden sistemáticamente las preguntas de EGT / EGR utilizando diferentes enfoques y tipos de datos.



# ESTRATEGIA DIDÁCTICA 10

Componentes bióticos y abióticos.

*Expresión morfológica de las algas.*



## I. DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología II
SEMESTRE ESCOLAR	Cuarto Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

## II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 2. ¿Cómo interactúan los sistemas biológicos con su ambiente y su relación con la conservación de la biodiversidad?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo:</b> Al finalizar, el alumno: Describirá la estructura y funcionamiento del ecosistema, a partir de las interacciones que se presentan entre sus componentes, para que reflexione sobre el efecto que el desarrollo humano ha causado en la biodiversidad y las alternativas del manejo sustentable en la conservación biológica.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos:</b> Reconoce los componentes bióticos y abióticos, así como su interrelación para la identificación de distintos ecosistemas. <b>Aprendizajes operativos:</b> 1. Identifica los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas. 2. Conoce la expresión morfológica multidiferenciada de las algas a partir de los factores ambientales.
TEMA(S)	Tema 1. Estructura y procesos en el ecosistema <ul style="list-style-type: none"><li>Componentes bióticos y abióticos</li></ul>

## III. ESTRATEGIA

La presente estrategia está diseñada para que los estudiantes identifiquen los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas, mediante diversas actividades como la investigación bibliográfica, el

análisis de lecturas y algunos ejemplos donde podrán distinguir cómo estos aspectos influyen en los seres vivos, en especial en el caso de la expresión morfológica multidiferenciada de las algas.

#### IV. SECUENCIA

<b>TIEMPO DIDÁCTICO</b>	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
<b>DESARROLLO Y ACTIVIDADES</b>	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)</p> <p>Los estudiantes realizan una investigación bibliográfica que les ayude a reconocer los componentes bióticos y abióticos. Registran sus resultados en su cuaderno personal.</p> <p>De apertura (1 hora)</p> <p>En clase el profesor proyectará digitalmente las imágenes del anexo 1 en el pizarrón, mediante participaciones los estudiantes pasarán a identificar los elementos bióticos encerrandolos en un círculo rojo -con ayuda de gises o marcadores-, y con un círculo azul los elementos abióticos. Al reconocerlos deberán explicar en voz alta al resto del grupo las características del elemento que reconoció. Se pueden ayudar de sus apuntes personales para mencionar dichas características. El profesor guiará las participaciones y la información que se mencionen.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Los estudiantes se organizan en dos grandes equipos para trabajar con el anexo 2. Lectura: Las interacciones entre los organismos y el medio ambiente limitan la distribución de las especies; un equipo se dedicará a identificar los aspectos bióticos que se tratan en el texto y el otro equipo a los aspectos abióticos. Ambos equipos enlistan los conceptos identificados en forma de glosario y dejarán espacios para escribir su definición. Una vez terminados los glosarios, dictarán los conceptos al otro equipo para que también busque las definiciones. Al finalizar, se compartirán los resultados de manera grupal.</p> <p>(2 horas)</p> <p>Para esta actividad se deben contar con seis equipos, cada equipo trabajará con una de las lecturas de los anexos 3, 4 y 5. Anexo 3. Lectura: The Ecology of Major Harmful Algae Groups; anexo 4. Lectura: Crecimiento y forma de las algas marinas; y anexo 5. Lectura: Las formas de expresión de las algas. Se darán 30 minutos para leer y 30 minutos para escribir la respuesta a las siguientes preguntas: ¿Cuáles son los factores bióticos y abióticos que influyen en la expresión morfológica de las algas? y ¿Cómo es la expresión morfológica</p>



	<p>de las algas de acuerdo a la influencia de los factores bióticos y abióticos?</p> <p><b>Actividades de cierre:</b> (1 hora)</p> <p>Los estudiantes saldrán a los jardines del plantel e identificarán sus aspectos bióticos y abióticos, los cuales deben registrar en un dibujo e iluminar con rojo los bióticos y con azul los abióticos.</p>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b>	<p>Recursos bibliográficos o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Aula-laboratorio de trabajo. Proyecto digital y computadora. Hojas blancas, lápiz y colores. Pizarrón y gises de colores o pintarrón y marcadores.</p> <p>Anexo 1. Imágenes: Ecosistemas.</p> <p>Anexo 2. Lectura: Las interacciones entre los organismos y el medio ambiente limitan la distribución de las especies.</p> <p>Anexo 3. Lectura: The Ecology of Major Harmful Algae Groups.</p> <p>Anexo 4. Lectura: Crecimiento y forma de las algas marinas.</p> <p>Anexo 5. Lectura: Las formas de expresión de las algas.</p>
<b>EVALUACIÓN</b>	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se juntarán puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b></p> <p>Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto</p> <p>Actividad de inicio (apertura): identificación de factores grupal.....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b></p> <p>Primera actividad de desarrollo: lectura y glosario en equipo.....2 puntos</p> <p>Segunda actividad de desarrollo: lectura y preguntas en equipo.....3 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b></p> <p>Actividad de cierre: identificación de factores individual.....3 puntos</p> <p>La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.</p>

## V. REFERENCIAS DE APOYO

<b>BIBLIOGRAFÍA DE</b>	Collado Vides, L. y Braga, M. R. A. (1996). Crecimiento y forma de las algas marinas.
------------------------	---

CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.	<p><i>Ciencias</i>, 42, 20-25. Recuperado en Marzo, 2020 de:  <a href="https://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/42/CNS04204.pdf">https://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/42/CNS04204.pdf</a></p> <p>González-González, J. (1994). Las algas: sistemática de un grupo filofénético. En Llorente Bousquets, J. &amp; Luna Vega, I. (Comps). <i>Taxonomía Biológica</i> pp. 299-332. Ediciones Científicas Universitarias: serie texto científico universitario. UNAM-Fondo de Cultura Económica. México. México. p. 299-331.</p>
BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR	<p>Campbell, N. A. y Reece, J. B. (2008). <i>Biology</i>. Pearson. San Francisco, CA. 8th ed. p.1151-1159.</p> <p>Burkholder, J.M., Azanza, R.V. y Sako, Y. (2006). The Ecology of Major Harmful Algae Groups. En Granéli, E. y Turner, J. T. (Eds.), <i>Ecology of Harmful Algae</i> (pp. 61-63). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.</p>
COMENTARIOS ADICIONALES	<p>Como actividad de cierre también pueden realizar un acuario o terrario.</p>

## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Imágenes: Ecosistemas.

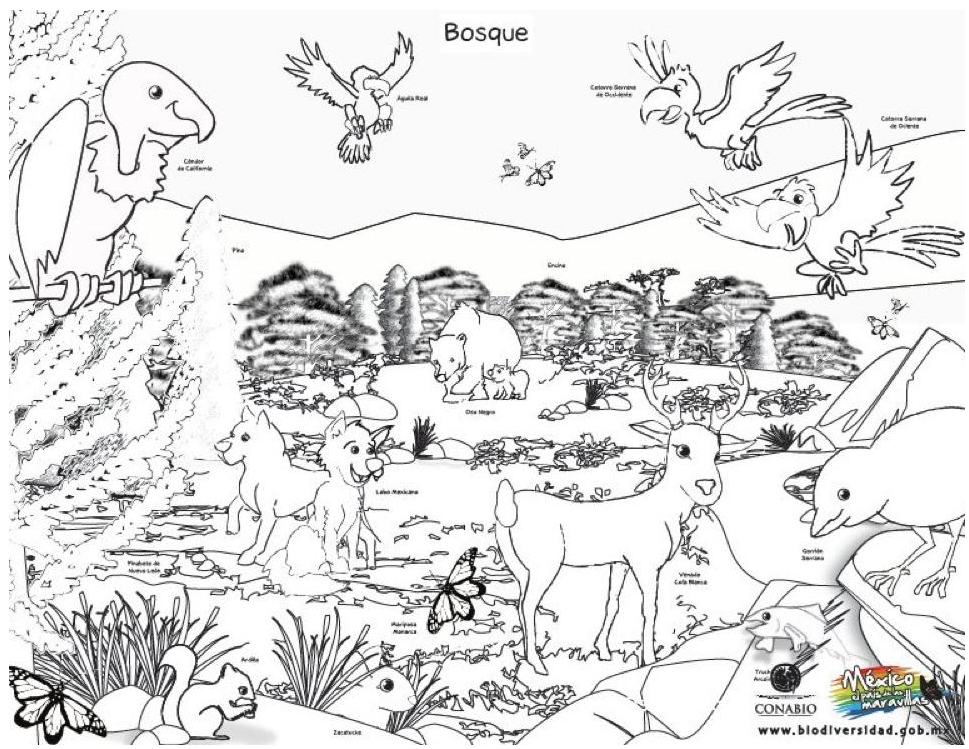
**Anexo 2.** Lectura: Las interacciones entre los organismos y el medio ambiente limitan la distribución de las especies.

**Anexo 3.** Lectura: The Ecology of Major Harmful Algae Groups.

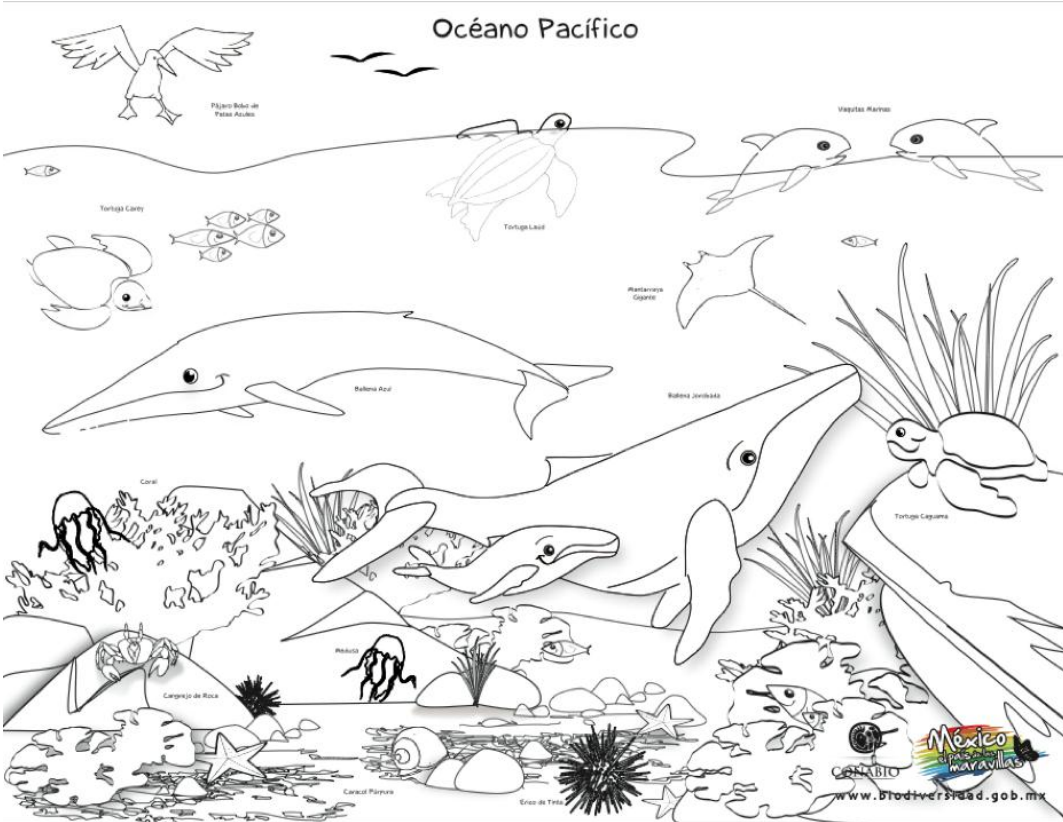
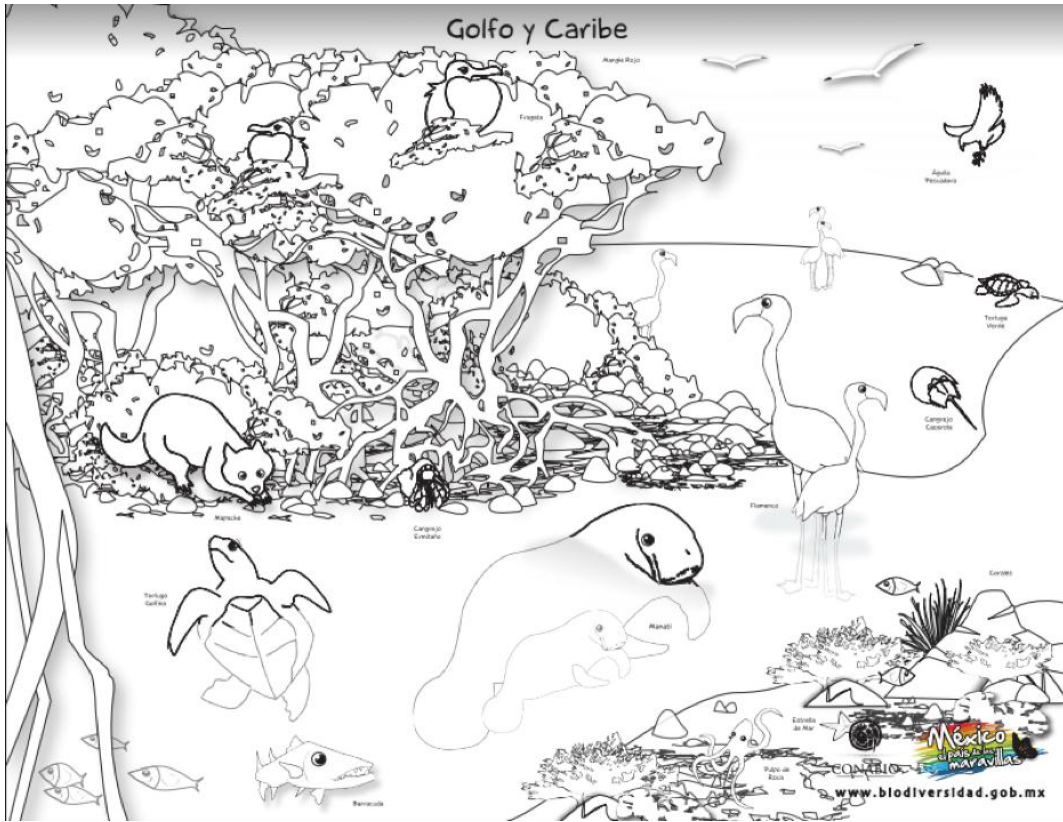
**Anexo 4.** Lectura: Crecimiento y forma de las algas marinas.

**Anexo 5.** Lectura: Las formas de expresión de las algas.

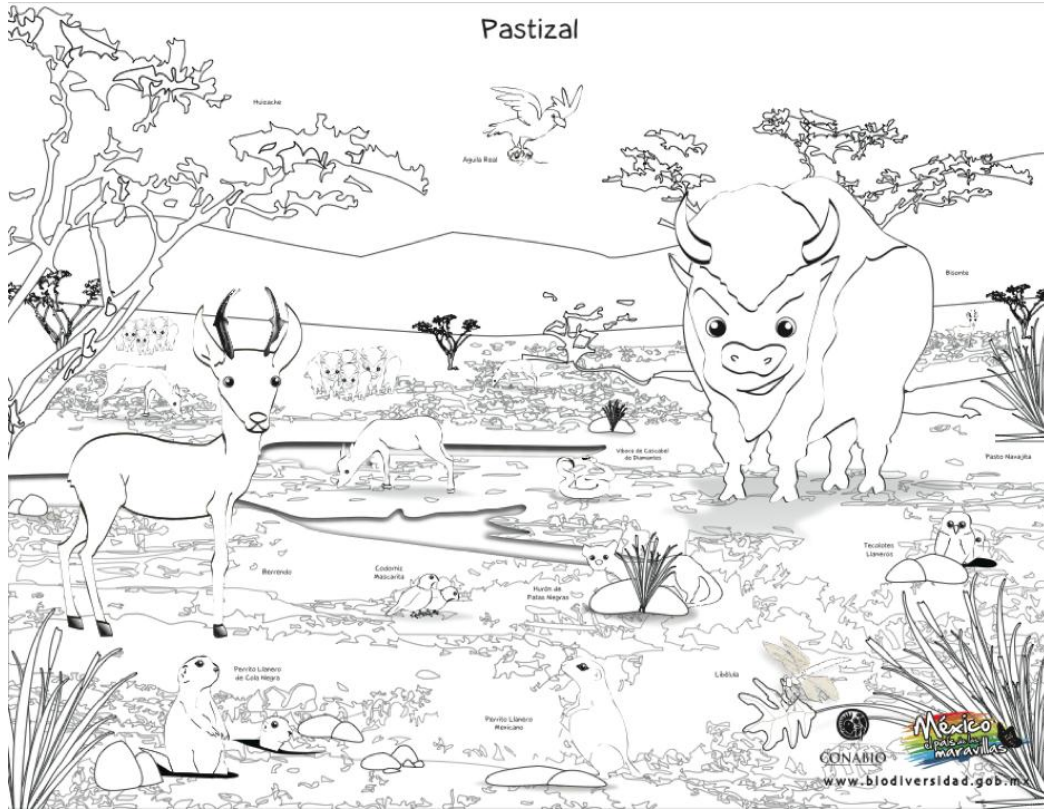
Anexo 1. Imágenes: Ecosistemas.<sup>1</sup>



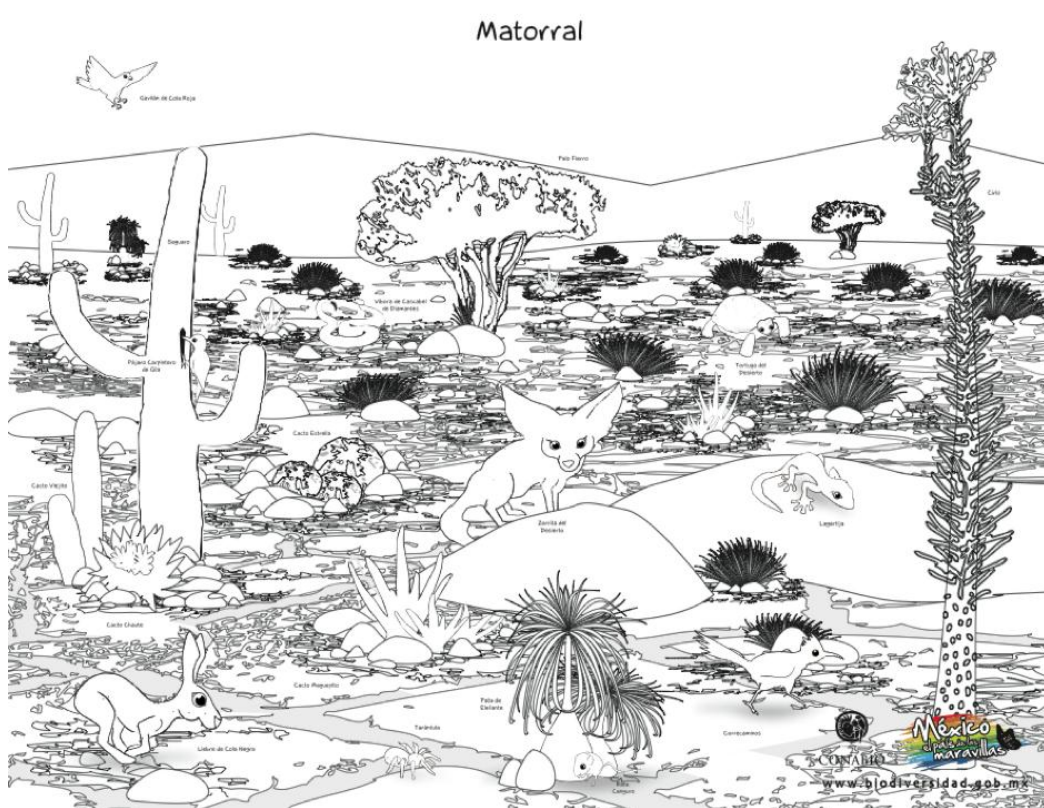
<sup>1</sup> Imágenes tomadas de la Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad -CONABIO- en [www.biodiversidad.gob.mx](http://www.biodiversidad.gob.mx)



# Pastizal



# Matorral



**Anexo 2.** Lectura: Las interacciones entre los organismos y el medio ambiente limitan la distribución de las especies.

## Las interacciones entre los organismos y el medio ambiente limitan la distribución de las especies.<sup>2</sup>

Campbell y Reece (2008)

Anteriormente presentamos la gama de escalas en las que trabajan los ecólogos y explicamos cómo se puede utilizar la ecología para comprender y tomar decisiones sobre nuestro medio ambiente. En esta sección, examinaremos cómo los ecólogos determinan qué controla la distribución de especies, como la ballena gris.

Los ecólogos han reconocido los patrones globales y regionales en la distribución de organismos. Los canguros, por ejemplo, se encuentran en Australia, pero en ningún otro lugar de la Tierra, los ecólogos preguntan no sólo dónde ocurren las especies, sino también por qué las especies ocurren donde lo hacen: ¿Qué factores determinan su distribución? Al tratar de responder a esta pregunta, los ecólogos se centran en dos tipos de factores: factores bióticos o vivos, todos los organismos que forman parte del entorno del individuo, y factores abióticos o no vivos, todos los factores químicos y físicos, como Temperatura, luz, agua y nutrientes que influyen en la distribución y abundancia de los organismos.

La Figura 1 presenta un ejemplo de cómo ambos tipos de factores pueden afectar la distribución de una especie, en este caso el canguro rojo (*Macropus rufus*). Como muestra la figura, los canguros rojos son más abundantes en algunas áreas del interior de Australia, donde la precipitación es relativamente escasa y variable, no se encuentra en la mayor parte de la periferia del continente, donde el clima varía de húmedo a húmedo. A primera vista, esta distribución podría sugerir que un factor abiótico, la cantidad y la variabilidad de la precipitación, determina directamente dónde viven los canguros rojos. Sin embargo, también es posible que el clima influya en las poblaciones de canguro rojo indirectamente a través de factores bióticos, como patógenos, parásitos, depredadores, competidores y disponibilidad de alimentos. Los ecólogos generalmente necesitan considerar múltiples factores e hipótesis alternativas al intentar explicar la distribución de las especies.

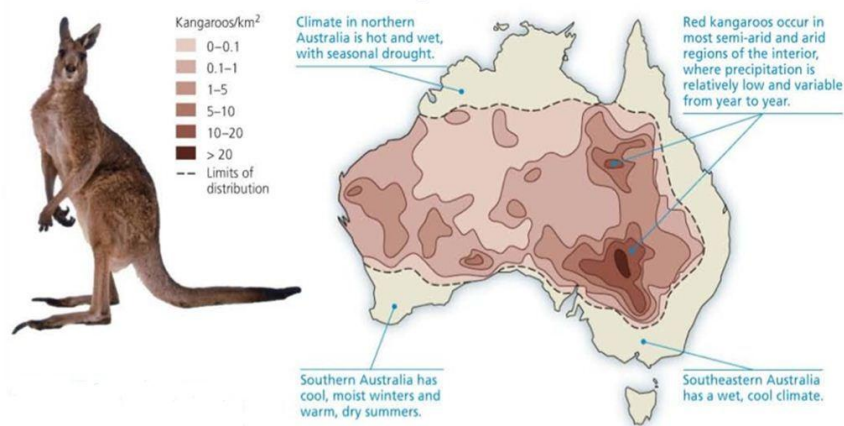


Figura 1. Distribución y abundancia del canguro rojo en Australia. Basado en reconocimientos aéreos.

<sup>2</sup> Campbell, N. A. y Reece, J. B. (2008). *Biology*. Pearson. San Francisco, CA. 8th ed. p.1151-1159.

Para ver cómo los ecólogos podrían llegar a tal explicación, analicemos la serie de preguntas en el diagrama de flujo de la Figura 2.

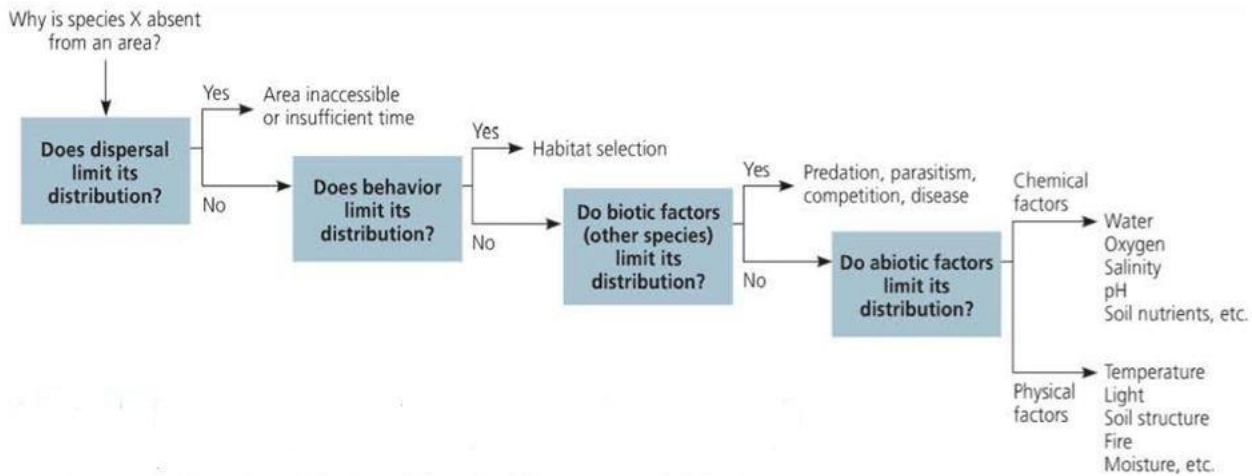


Figura 2. Diagrama de flujo de factores que limitan la distribución geográfica. A medida que los ecólogos estudian los factores que limitan la distribución de una especie, a menudo consideran una serie de preguntas como las que se muestran aquí.

### Dispersión y distribución

El movimiento de individuos fuera de su área de origen o de centros de alta densidad de población, llamada dispersión, contribuye a la distribución global de los organismos. Un biogeógrafo podría considerar la dispersión en la hipótesis de por qué no hay canguros en América del Norte; Los canguros no pudieron llegar porque existía una barrera para su dispersión. Si bien los canguros terrestres no han llegado a América del Norte por sus propios medios, otros organismos que se dispersan más fácilmente, como algunas aves, sí lo han hecho. La dispersión de organismos es crítica para comprender tanto el aislamiento geográfico en evolución (ver Capítulo 24) como los patrones generales de las distribuciones geográficas actuales de las especies.

### Expansiones de rango natural

La importancia de la dispersión es más evidente cuando los organismos alcanzan un área donde no existían anteriormente. Por ejemplo, hace 200 años, la garcilla bueyera se encontraba solo en África y el suroeste de Europa. Pero a fines del siglo XIX, algunas de estas aves voladoras lograron cruzar el Océano Atlántico y colonizar el noreste de Sudamérica. Desde allí, las garzas de ganado se diseminaron gradualmente hacia el sur y también hacia el norte a través de América Central y América del Norte, llegando a Florida en 1960 (Fig. 3). Hoy tienen poblaciones reproductoras tan al oeste como la costa del Pacífico de los Estados Unidos y tan al norte como el sur de Canadá.

Las expansiones de rango natural muestran claramente la influencia de la dispersión en la distribución, pero las oportunidades para observar dicha dispersión directamente son raras. Como consecuencia, los ecólogos a menudo recurren a métodos experimentales para comprender mejor el papel de la dispersión en la limitación de la distribución de las especies.

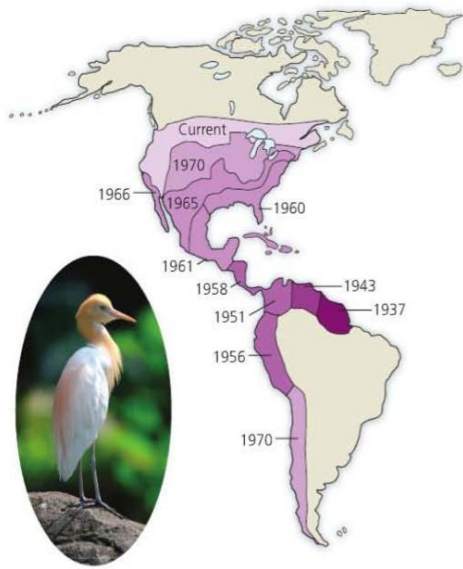


Figura 3. Dispersión de la garza bueyera en las Américas. Originario de África, las garzas bueyeras se informaron por primera vez en América del Sur en 1877.

### Trasplantes de especies

Para determinar si la dispersión es un factor clave que limita la distribución de una especie, los ecólogos pueden observar los resultados de los trasplantes intencionales o accidentales de la especie a áreas donde anteriormente estaba ausente. Para que un trasplante se considere exitoso, algunos de los organismos no solo deben sobrevivir en la nueva área sino también reproducirse allí. Si un trasplante es exitoso, entonces podemos concluir que el rango potencial de la especie es mayor que su rango real; en otras palabras, la especie podría vivir en ciertas áreas donde actualmente no lo hace.

Las especies introducidas en nuevas ubicaciones geográficas a menudo perturban las comunidades y los ecosistemas en los que han sido introducidas y se extienden mucho más allá del área de introducción prevista. En consecuencia, los ecólogos rara vez realizan experimentos de trasplante en regiones geográficas. En cambio, documentan el resultado cuando una especie ha sido trasplantada para otros fines, como introducir animales de caza o depredadores de especies de plagas, o cuando una especie ha sido trasplantada accidentalmente.

### Comportamiento y selección de hábitat

Como muestran los experimentos de trasplante, algunos organismos no ocupan todo su rango potencial, a pesar de que pueden ser físicamente capaces de dispersarse en las áreas desocupadas. Para seguir nuestra línea de preguntas de la Figura 2, ¿el comportamiento juega un papel en limitar la distribución en tales casos? Cuando los individuos parecen evitar ciertos hábitats, incluso cuando los hábitats son adecuados, la distribución del organismo puede verse limitada por el comportamiento de selección del hábitat.

Aunque la selección del hábitat es uno de los procesos ecológicos menos entendidos, algunos casos en insectos han sido estudiados de cerca. Los insectos hembras a menudo depositan los huevos solo en respuesta a un conjunto muy limitado de estímulos, lo que puede restringir la distribución de los insectos a ciertas plantas hospederas. Las larvas del barrenador del maíz europeo, por ejemplo, pueden alimentarse de una amplia variedad de plantas, pero se encuentran casi exclusivamente en el maíz porque las hembras que ponen huevos son atraídas por los olores producidos por la planta de maíz. El comportamiento de selección de hábitat restringe claramente las especies de plantas en las que se encuentra el barrenador del maíz.

### Factores bióticos

Si el comportamiento no limita la distribución de una especie, nuestra siguiente pregunta es si los factores bióticos, es decir, otras especies, son responsables (Fig. 2). En muchos casos, una especie no puede completar su ciclo de vida completo si se trasplanta a un área nueva. Esta incapacidad para sobrevivir y reproducirse puede deberse a interacciones negativas con otros organismos en forma de depredación, parasitismo o competencia. Alternativamente, la supervivencia y la reproducción pueden estar limitadas por la ausencia de otras especies de las que depende la especie trasplantada, como los polinizadores para muchas plantas con flores. Los depredadores (organismos que matan a sus presas) y los herbívoros (organismos que



comen plantas o algas) son ejemplos comunes de factores bióticos que limitan la distribución de las especies. En pocas palabras, los organismos que comen pueden limitar la distribución de los organismos que se comen.

Examinemos un caso específico de un herbívoro que limita la distribución de una especie alimenticia (Fig. 4). En ciertos ecosistemas marinos, a menudo existe una relación inversa entre la abundancia de erizos de mar y algas marinas (algas marinas grandes, como las algas marinas). Donde los erizos de mar que pastan en algas y otras algas son comunes, no se establecen grandes rodales de algas. Así, los erizos de mar parecen limitar la distribución local de algas marinas. Este tipo de interacción puede probarse mediante experimentos de "eliminación y adición". En estudios cerca de Sydney, Australia, W. J. Fletcher probó la hipótesis de que los erizos de mar son un factor biótico que limita la distribución de algas. Debido a que a menudo hay otros herbívoros en los hábitats, donde las algas pueden crecer, Fletcher realizó una serie de experimentos de campo manipuladores para aislar la influencia de los erizos de mar en las algas en su área de estudio (Fig. 4). Mostró que los erizos limitaban la distribución de las algas marinas.

Además de la depredación y la herbivoría, la presencia o ausencia de recursos alimenticios, parásitos, patógenos y organismos competidores pueden actuar como limitaciones bióticas en la distribución de especies. Algunos de los casos de limitación más llamativos ocurren cuando los humanos introducen accidental o intencionalmente depredadores exóticos o patógenos en nuevas áreas y eliminan especies nativas.

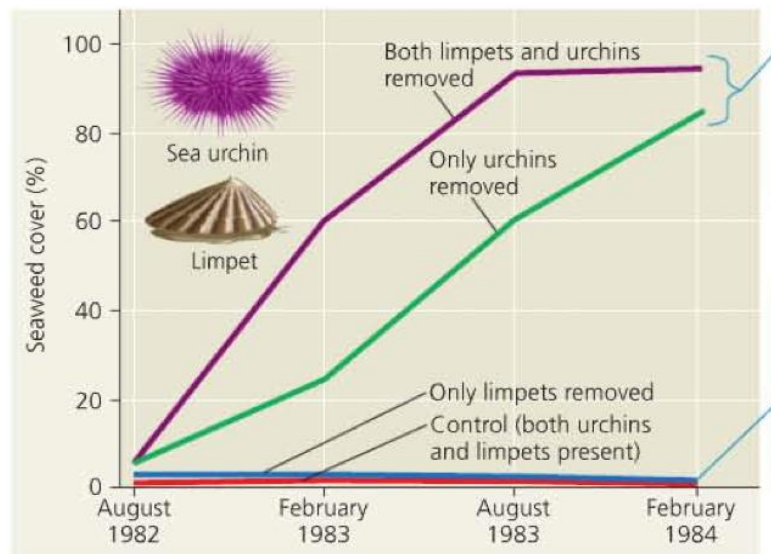


Figura 4. ¿La alimentación de los erizos de mar limita la distribución de algas?

Retirar las lapas y los erizos o eliminar solo los erizos aumentó dramáticamente la cubierta de algas. Casi ninguna alga marina creció en áreas donde había erizos y lapas, o donde solo se quitaron las lapas.

#### EXPERIMENTO

W. J. Fletcher, de la Universidad de Sydney, Australia, razonó que si los erizos de mar son un factor biótico limitante, entonces más algas deberían invadir un área de la que se han eliminado los erizos de mar. Para aislar el efecto de los erizos de mar del de otro animal que se alimenta de algas, la lapa solo sacaba erizos, solo lapas, o ambos de áreas de estudio adyacentes a un sitio de control.

**RESULTADOS** Fletcher observó una gran diferencia en el crecimiento de algas marinas entre áreas con y sin erizos de mar.

**CONCLUSIÓN** La eliminación de las lapas y los erizos resultó en el mayor aumento de la cubierta de algas, lo que indica que ambas especies tienen cierta influencia en la distribución de las algas. Pero dado que eliminar solo los erizos aumentó mucho el crecimiento de las algas marinas, mientras que eliminar solo las lapas tuvo poco efecto, Fletcher concluyó que los erizos de mar tienen un efecto mucho mayor que las lapas al limitar la distribución de las algas.

FUENTE W, J. Fletcher, Interacciones entre erizos submarinos australianos, gasterópodos y efectos de las algas de las eliminaciones experimentales, *Ecological Monographs* 57: 89-109 (1989).

¿Y si? La cobertura de algas marinas aumentó más cuando se eliminaron tanto los erizos como las lapas. ¿Cómo podrías explicar este resultado?

### **Factores abióticos**

La última pregunta en el diagrama de flujo de la Figura 2 considera si los factores abióticos, como la temperatura, el agua, la salinidad, la luz solar o el suelo, podrían limitar la distribución de una especie. Si las condiciones físicas en un sitio no permiten que una especie sobreviva y se reproduzca, entonces la especie no se encontrará allí. A lo largo de esta discusión, tenga en cuenta que el entorno se caracteriza por la heterogeneidad espacial y la heterogeneidad temporal; es decir, la mayoría de los factores abióticos varían en espacio y tiempo. Aunque dos regiones de la Tierra pueden experimentar diferentes condiciones en un momento dado, las fluctuaciones diarias y anuales de factores abióticos pueden difuminar o acentuar las distinciones regionales. Además, los organismos pueden evitar algunas condiciones estresantes temporalmente a través de comportamientos como la inactividad o la hibernación.

#### Temperatura

La temperatura ambiental es un factor importante en la distribución de organismos debido a su efecto en los procesos biológicos. Las células pueden romperse si el agua que contienen se congela (a temperaturas inferiores a 0°C), y las proteínas de la mayoría de los organismos se desnaturalizan a temperaturas superiores a 45 ° C. Además, pocos organismos pueden mantener un metabolismo activo a temperaturas muy bajas o muy altas, sin embargo adaptaciones extraordinarias permiten que algunos organismos, como los procariontes termofílicos, vivan fuera del rango de temperatura habitable por otra vida. La mayoría de los organismos funcionan mejor dentro de un rango específico de temperatura ambiental. Las temperaturas fuera de ese rango pueden obligar a algunos animales a gastar energía regulando su temperatura interna, como lo hacen los mamíferos y las aves.

#### Agua

La variación dramática en la disponibilidad de agua entre los hábitats es otro factor importante en la distribución de las especies. Las especies que viven en la orilla del mar o en humedales de marea pueden desecarse (secarse) a medida que la marea retrocede. Los organismos terrestres enfrentan una amenaza casi constante de desecación, y la distribución de especies terrestres refleja su capacidad para obtener y conservar agua. Los organismos del desierto, por ejemplo, exhiben una variedad de adaptaciones para adquirir y conservar agua en ambientes secos.

## Salinidad

La concentración de sal del agua en el ambiente afecta el balance de agua de los organismos a través de la ósmosis. La mayoría de los organismos acuáticos están restringidos a hábitats de agua dulce o salada por su capacidad limitada de osmorregulación. Aunque muchos organismos terrestres pueden excretar sales en exceso de glándulas especializadas o en heces, las salinas y otros hábitats de alta salinidad suelen tener pocas especies de plantas o animales.

## Luz del sol

La luz solar absorbida por los organismos fotosintéticos proporciona la energía que impulsa la mayoría de los ecosistemas, y muy poca luz solar puede limitar la distribución de especies fotosintéticas. En los bosques, la sombra de las hojas en las copas de los árboles hace que la competencia por la luz sea especialmente intensa, particularmente por las plántulas que crecen en el suelo del bosque. En ambientes acuáticos, cada metro de profundidad de agua absorbe selectivamente aproximadamente el 45% de la luz roja y aproximadamente el 2% de la luz azul que la atraviesa. Como resultado, la mayoría de la fotosíntesis en ambientes acuáticos ocurre relativamente cerca de la superficie.

Demasiada luz también puede limitar la supervivencia de los organismos. La atmósfera es más delgada en las elevaciones más altas, absorbiendo menos radiación ultravioleta, por lo que los rayos solares tienen más probabilidades de dañar el ADN y las proteínas en ambientes alpinos (Fig. 5). En otros ecosistemas, como los desiertos, los niveles altos de luz pueden aumentar el estrés por temperatura si los animales no pueden evitar la luz o enfriarse a sí mismos por evaporación.

## Rocas y suelo

El pH, la composición mineral y la estructura física de las rocas y el suelo limitan la distribución de las plantas y, por lo tanto, de los animales que se alimentan de ellas, lo que contribuye a la irregularidad de los ecosistemas terrestres. El pH del suelo y el agua puede limitar la distribución de organismos directamente, a través de condiciones ácidas o básicas extremas, o indirectamente, a través de la solubilidad de nutrientes y toxinas. En arroyos y ríos, la composición del sustrato (superficie inferior) puede afectar la química del agua, que a su vez influye en los organismos residentes. En ambientes de agua dulce y marinos, la estructura del sustrato determina los organismos que pueden adherirse a él o excavar en él.

Ahora que hemos examinado algunos de los factores abióticos que afectan la distribución de los organismos, centrémonos en cómo esos factores varían con el clima, ya que consideramos el papel principal que desempeña el clima en la determinación de la distribución de especies.

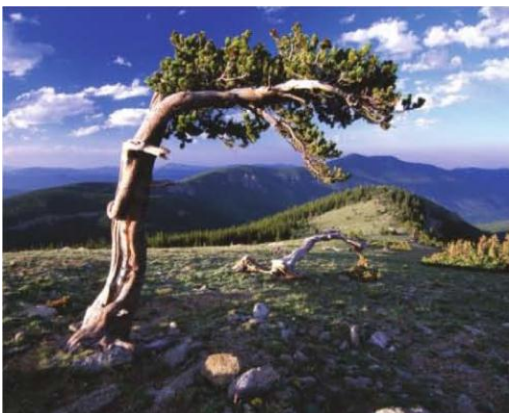


Figura 5. Árbol alpino Los organismos que viven en elevaciones elevadas están expuestos a altos niveles de radiación ultravioleta. También enfrentan otros desafíos. Incluyendo temperaturas de congelación y vientos fuertes, que aumentan la pérdida de agua e inhiben el crecimiento de ramas en el lado de barlovento de los árboles.

## Clima

Cuatro factores abióticos (temperatura, precipitación, luz solar y viento) son los componentes principales del clima, las condiciones climáticas predominantes a largo plazo en un área en particular. Los factores climáticos, particularmente la temperatura y la disponibilidad de agua, tienen una gran influencia en la distribución de los organismos terrestres. Podemos describir patrones climáticos en dos escalas: macroclima, patrones a nivel global, regional y local; y microclima, patrones muy finos, como los encontrados por la comunidad de organismos que viven debajo de un tronco caído. Primero consideremos el macroclima de la Tierra.

El efecto de calentamiento del sol sobre la atmósfera, la tierra y el agua establece las variaciones de temperatura, los ciclos de movimiento del aire y la evaporación del agua que son responsables de las dramáticas variaciones latitudinales en el clima.

### Efectos regionales, locales y estacionales sobre el clima

La proximidad a los cuerpos de agua y las características topográficas como las cadenas montañosas crean variaciones climáticas regionales, y las características más pequeñas del paisaje contribuyen a la variación climática local. La variación estacional es otra influencia sobre el clima.

**Cuerpos de agua** Las corrientes oceánicas influyen en el clima a lo largo de las costas de los continentes al calentar o enfriar las masas de aire suprayacentes, que luego pueden atravesar la tierra. Las regiones costeras también son generalmente más húmedas que las áreas del interior en la misma latitud. El clima frío y brumoso producido por la corriente fría de California que fluye hacia el sur a lo largo del oeste de los Estados Unidos sostiene un ecosistema de bosque lluvioso de coníferas en el noroeste del Pacífico y grandes arboledas de secuoyas más al sur. De manera similar, la costa oeste del norte de Europa tiene un clima templado porque la Corriente del Golfo transporta agua caliente desde el ecuador hasta el Atlántico Norte, impulsada en parte por la "gran banda transportadora oceánica" (Fig. 6). Como resultado, el noroeste de Europa es más cálido durante el invierno que Nueva Inglaterra, que está más al sur pero es enfriada por la corriente de Labrador que fluye hacia el sur desde la costa de Groenlandia.

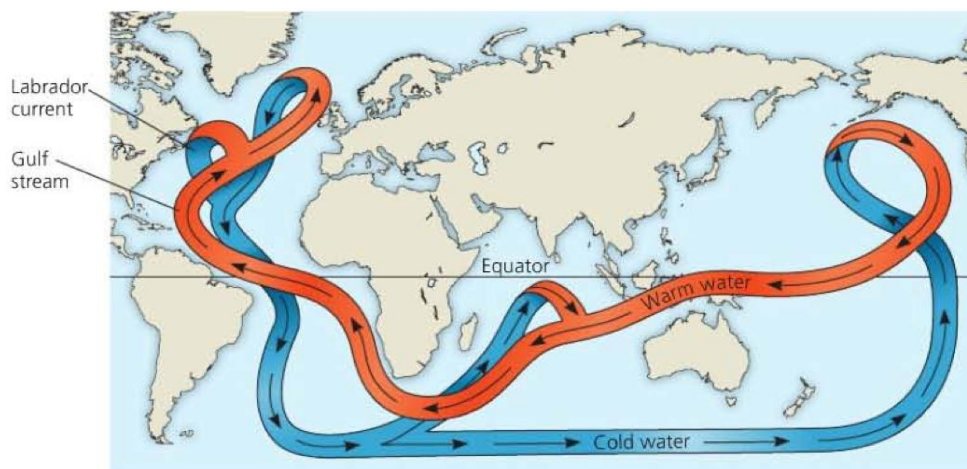


Figura 6. La gran cinta transportadora del océano. El agua se calienta en el ecuador y fluye a lo largo de la superficie del océano hacia el Atlántico Norte, donde se enfría, se vuelve más densa y se hunde miles de metros. Es posible que el agua profunda y fría no regrese a la superficie del océano durante 1,000 años.

Debido al alto calor específico del agua, los océanos y los grandes lagos tienden a moderar el clima de las tierras cercanas. Durante un día caluroso, cuando la tierra es más cálida que el cuerpo de agua cercano, el aire sobre la tierra se calienta y se eleva, dibujando una brisa fresca del agua a través de la tierra (Fig. 7), por la noche, aire sobre el agua más cálida se eleva, extrayendo aire más frío de la tierra sobre el agua, reemplazándolo por aire más cálido de la costa. Sin embargo, la moderación del clima puede limitarse a la costa misma. En ciertas regiones, como el sur de California, las brisas oceánicas frescas y secas en verano se calientan cuando entran en contacto con la tierra, absorbiendo humedad y creando un clima cálido y sin lluvia a solo unas pocas millas tierra adentro. Este patrón climático también ocurre alrededor del Mar Mediterráneo, lo que le da el nombre de clima mediterráneo.

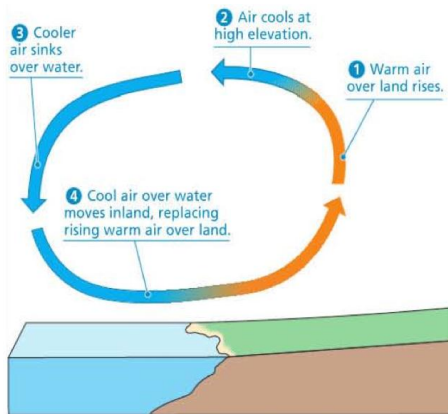


Figura 7. Efectos moderadores de una gran masa de agua sobre el clima. Esta figura ilustra lo que sucede en un caluroso día de verano.

Montañas Las montañas afectan la cantidad de luz solar que llega a un área y, en consecuencia, la temperatura local y las precipitaciones. Las pendientes orientadas hacia el sur en el hemisferio norte reciben más luz solar que las pendientes orientadas hacia el norte y, por lo tanto, son más cálidas y secas. Estas diferencias abióticas influyen en la distribución de las especies; por ejemplo, en muchas montañas del oeste de América del Norte, las piceas y otras coníferas ocupan las laderas más frías orientadas hacia el norte, mientras que las plantas arbustivas resistentes a la sequía habitan en las laderas orientadas hacia el sur. Además, cada aumento de 1, {X}. M en la elevación produce una caída de temperatura de aproximadamente 6 ° C, equivalente a la producida por un aumento de latitud de 880-km. Esta es una de las razones por las cuales las comunidades biológicas de las montañas son similares a las de elevaciones más bajas pero más alejadas del ecuador.

Cuando el aire cálido y húmedo se acerca a una montaña, el aire se eleva y se enfría, liberando humedad en el lado de barlovento del pico (Fig. 8). En el lado de sotavento, el aire fresco y seco desciende, absorbe la humedad y produce una "sombra de lluvia". Los desiertos ocurren comúnmente en el lado de sotavento de las cadenas montañosas, un fenómeno evidente en la Gran Cuenca y el Desierto de Mojave en el oeste de América del Norte, el Gobi Desierto de Asia, y los pequeños desiertos que se encuentran en las esquinas del suroeste de algunas islas del Caribe.

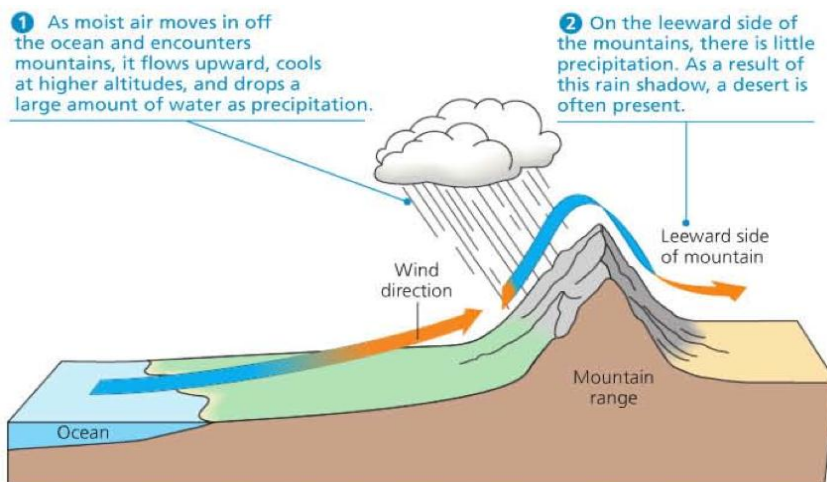


Figura 8. Cómo afectan las montañas a las lluvias.

A medida que el aire húmedo se desplaza fuera del océano y encuentra montañas, fluye hacia arriba, se enfría en altitudes más altas y cae una gran cantidad de agua como precipitación.

(1) En el lado de sotavento de las montañas, hay poca precipitación. Como resultado de esta sombra de

lluvia, a menudo está presente un desierto.

Estacionalidad Como se describió anteriormente, el eje de rotación inclinado de la Tierra y su paso anual alrededor del Sol causan fuertes ciclos estacionales en latitudes medias a altas. Además de estos cambios globales en la duración del día, la radiación solar y la temperatura, el ángulo cambiante del sol a lo largo del año afecta los ambientes locales. Por ejemplo, los cinturones de aire húmedo y seco a ambos lados del ecuador se mueven ligeramente hacia el norte y hacia el sur con el ángulo cambiante del sol, produciendo marcadas estaciones húmedas y secas alrededor de 20° norte y 20° latitud sur, donde hay muchos bosques tropicales caducifolios crecer. Además, los cambios estacionales en los patrones de viento producen variaciones en las corrientes oceánicas, a veces causando la afluencia de agua fría de las capas oceánicas profundas. Esta agua rica en nutrientes estimula el crecimiento del fitoplancton que habita en la superficie y los organismos que se alimentan de ellos.

### Microclima

Muchas características en el medio ambiente influyen en los microclimas al proyectar sombra, afectando la evaporación del suelo o cambiando los patrones del viento. Por ejemplo, los árboles forestales con frecuencia moderan el microclima debajo de ellos. En consecuencia, las áreas despejadas generalmente experimentan temperaturas más extremas que el interior del bosque debido a la mayor radiación solar y las corrientes de viento que se establecen por el rápido calentamiento y enfriamiento de la tierra abierta. Dentro de un bosque, el suelo bajo suele ser más húmedo que el suelo alto y tiende a estar ocupado por diferentes especies de árboles. Un tronco o piedra grande puede albergar organismos como salamandras, gusanos e insectos, que los protegen de los extremos de la temperatura y la humedad. Cada entorno en la Tierra se caracteriza de manera similar por un mosaico de pequeñas diferencias en los factores abióticos que influyen en las distribuciones locales de los organismos.

### Cambio climático a largo plazo

Si la temperatura y la humedad son los factores más importantes que limitan los rangos geográficos de plantas y animales, entonces el cambio climático global actualmente en curso afectará profundamente la biosfera. Una forma de predecir los posibles efectos del cambio climático es mirar hacia atrás a los cambios que se han producido en las regiones templadas desde que terminó la última era de hielo.

Hasta hace unos 16,000 años, los glaciares continentales cubrían gran parte de América del Norte y Eurasia. A medida que el clima se calentó y los glaciares se retiraron, las distribuciones de árboles se expandieron hacia el norte. Un registro detallado de estas migraciones se captura en el polen fósil depositado en lagos y estanques. (Puede parecer extraño pensar que los árboles "emigran", pero recuerda del Capítulo 38 que el viento y los animales pueden dispersar las semillas, a veces en grandes distancias). Los investigadores pueden determinar los límites climáticos de las distribuciones geográficas actuales de los organismos. predicciones acerca de cómo cambiarán las distribuciones con el calentamiento climático. Una pregunta importante al aplicar este enfoque a las plantas es si la dispersión de semillas es lo suficientemente rápida como para sostener la migración de cada especie a medida que cambian los climas. Por ejemplo, los fósiles sugieren que la cicuta oriental se retrasó casi 2,500 años en su movimiento hacia el norte al final de la última edad de hielo. Este retraso en la dispersión de semillas se debió en parte a la falta de "alas" en las semillas, lo que provocó que las semillas cayeran cerca de su árbol parental.

Veamos un caso específico de cómo el registro fósil de migraciones pasadas de árboles puede informar predicciones sobre el impacto biológico de la tendencia actual del calentamiento global. La Figura 9 muestra los

rangos geográficos actuales y previstos de la haya americana (*Fagus grandifolia*) bajo dos modelos diferentes de cambio climático. Estos modelos predicen que el límite norte del rango de la haya se moverá 700-900 km hacia el norte en el próximo siglo, y su límite del rango sur se moverá hacia el norte una distancia aún mayor. Si estas predicciones son incluso aproximadamente correctas, la haya debe moverse entre 7 y 9 km por año hacia el norte para seguir el ritmo del calentamiento del clima. Sin embargo, desde el final de la última glaciación, la haya ha migrado a su rango actual a una velocidad de solo 0.2 km por año. Sin ayuda humana para moverse a

nuevos rangos donde puedan sobrevivir a medida que el clima se calienta, especies como la haya americana pueden tener rangos mucho más pequeños e incluso pueden extinguirse.

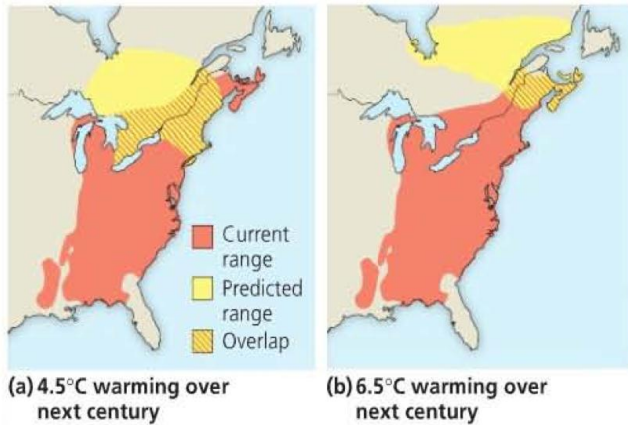


Figura 9. Rango actual y rango predicho para la haya americana (*Fagus grandifolia*) bajo dos escenarios de cambio climático.

## The Ecology of Major Harmful Algae Groups.<sup>3</sup>

La ecología de los principales grupos de algas nocivas

Burkholder, Azanza, y Sako (2006)

La ecología de los dinoflagelados nocivos.

Marcos conceptuales para avanzar en la comprensión

Los dinoflagelados dañinos son capaces de explotar "una asombrosa variedad de nichos ecológicos, estrategias de supervivencia y modos nutricionales" (Cembella 1998, p.650). Es un desafío abrumador traer cierta apariencia de orden y capacidad predictiva, en general, a su comportamiento y floración. Sin embargo, los marcos conceptuales pueden proporcionar perspectivas valiosas y frescas e hipótesis comprobables para fortalecer la comprensión de la ecología de los dinoflagelados dañinos.

Tales esfuerzos fueron muy avanzados por el trabajo clásico de Margalef (1978), quien sugirió unificar a los directores que definen el nicho de los dañinos conjuntos de dinoflagelados marinos formadores de floración planctónicos (Fig. 1). El "Mandala de Margalef" considera las condiciones de los nutrientes y la intensidad de la turbulencia (mezcla) como factores clave que controlan la morfología y fisiología de las "formas de vida" del fitoplancton y su sucesión estacional a lo largo de un gradiente de estrategias de crecimiento de *r* a *K*. El modelo predice que las floraciones dinoflageladas dañinas ocurren en aguas tranquilas y ricas en nutrientes, en aparente contradicción con los datos empíricos de algunas especies de flores; y considera que todas las "mareas rojas" son similares, independientemente de la especie o el hábitat de la floración. La "forma de vida de Intaglio" de Reynolds (1987) refinó los ejes de Margalef y propuso tres estrategias de adaptación principales para el fitoplancton de agua dulce: (C) Colonos (especies invasoras pequeñas, de rápido crecimiento, seleccionadas en forma dominante, dominantes en hábitats con trastornos químicos); (S), especies tolerantes al estrés (grandes, de crecimiento lento, seleccionadas por *K*); y (R) Especies romberales (tolerantes de fuerzas de corte / esfuerzo en aguas físicamente perturbadas). El modelo de Reynolds permite la selección de especies dentro de un amplio espacio ecológico, excepto en hábitats "vacíos" donde los nutrientes y la luz son continuamente deficientes.

En un trabajo seminal reciente, Smayda y Reynolds (2001, 2003) construyeron un modelo conceptual para reevaluar las preferencias de hábitat de las especies en floración de dinoflagelados planctónicos dañinos a lo largo de un gradiente en tierra-costa afuera de nutrientes decrecientes, mezcla reducida y zona eufótica más profunda, incluida de rasgos de forma de vida (tamaño, forma) y estrategias adaptativas. Smayda y Reynolds aplicaron con éxito el modelo de Reynolds, antes que el modelo de Margalef, al fitoplancton marino nocivo.

Su análisis sugirió que las especies de fitoplancton marinas y de agua dulce tienen estrategias adaptativas similares, y que la interacción esencial en la selección y sucesión de especies en flor está más relacionada con el grado de diferenciación estructural del microhábitat vertical a lo largo del eje de turbulencia que una (presumido, en el modelo de Margalef) correlación entre el grado de mezcla y los niveles de nutrientes. La dinámica de Bloom se propuso para reflejar dos características de selección básicas, la forma de vida y la selección específica de la especie; las propiedades de la forma de vida se consideraron como propiedades fenomenológicas primordiales en la selección; y se consideró que la selección de especies de flores

---

<sup>3</sup> Burkholder, J.M., Azanza, R.V. y Sako, Y. (2006). The Ecology of Major Harmful Algae Groups. En Granéli, E. y Turner, J. T. (Eds.), Ecology of Harmful Algae (pp. 61-63). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.



dentro de una forma de vida dada seguía a la "selección estocástica", caracterizada por un alto grado de imprevisibilidad. Los dinoflagelados dañinos que forman flores se clasificaron en nueve categorías a lo largo de una "plantilla de hábitat", con preferencias morfológicas y de hábitat distintivas (Fig. 2). El modelo proporciona un marco para probar nuevas hipótesis, un medio para clasificar dinoflagelados dañinos que forman flores, sobre una base funcional, y un formato para rastrear y predecir cambios compositivos sobre la mezcla estacional, la estructura vertical y la partición de nutrientes. La extensión de este marco conceptual ayudaría a interpretar también la dinámica espacial / temporal de los ensamblajes bentónicos de dinoflagelados dañinos.

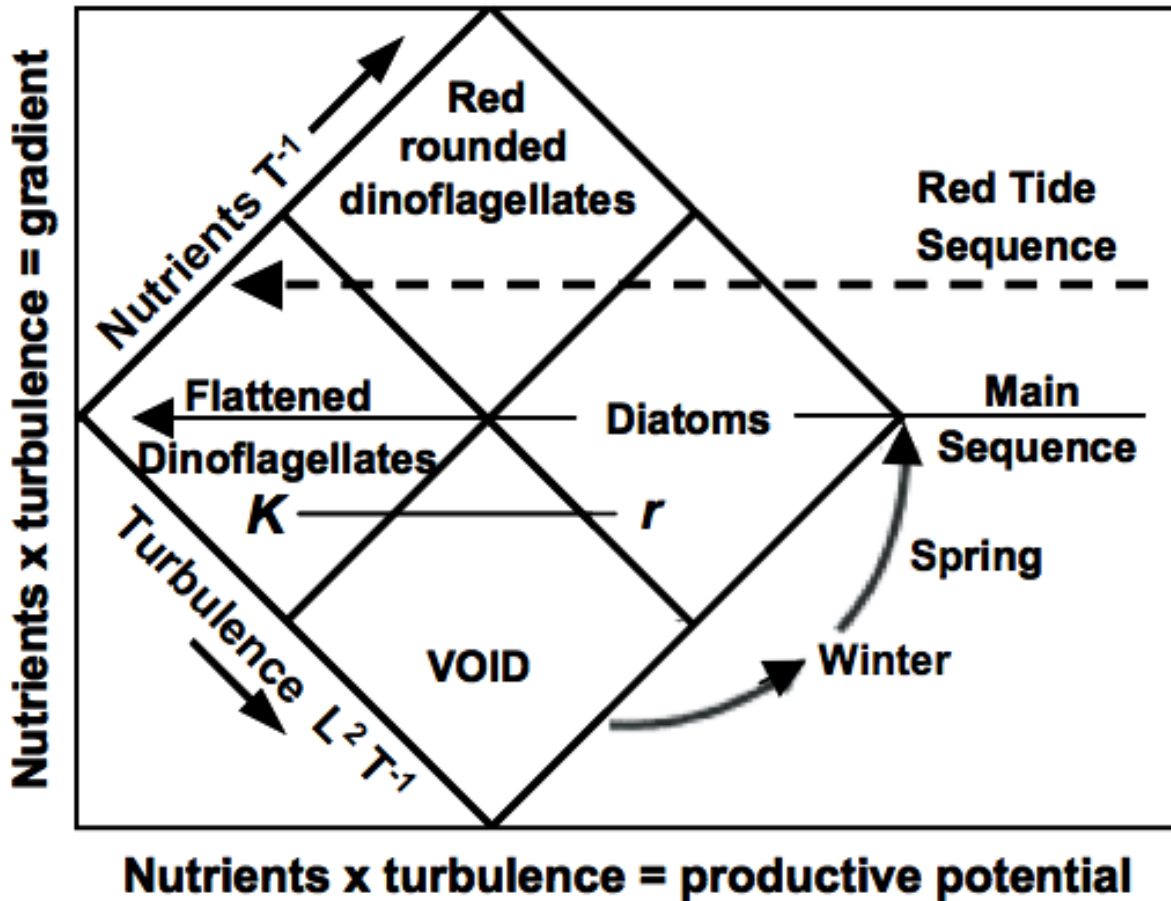


Figura 1. La Guía de Margalef, que incluye una trayectoria para las floraciones de dinoflagelados planctónicos perjudiciales ("mareas rojas") consideradas colectivamente. De Margalef (1978)

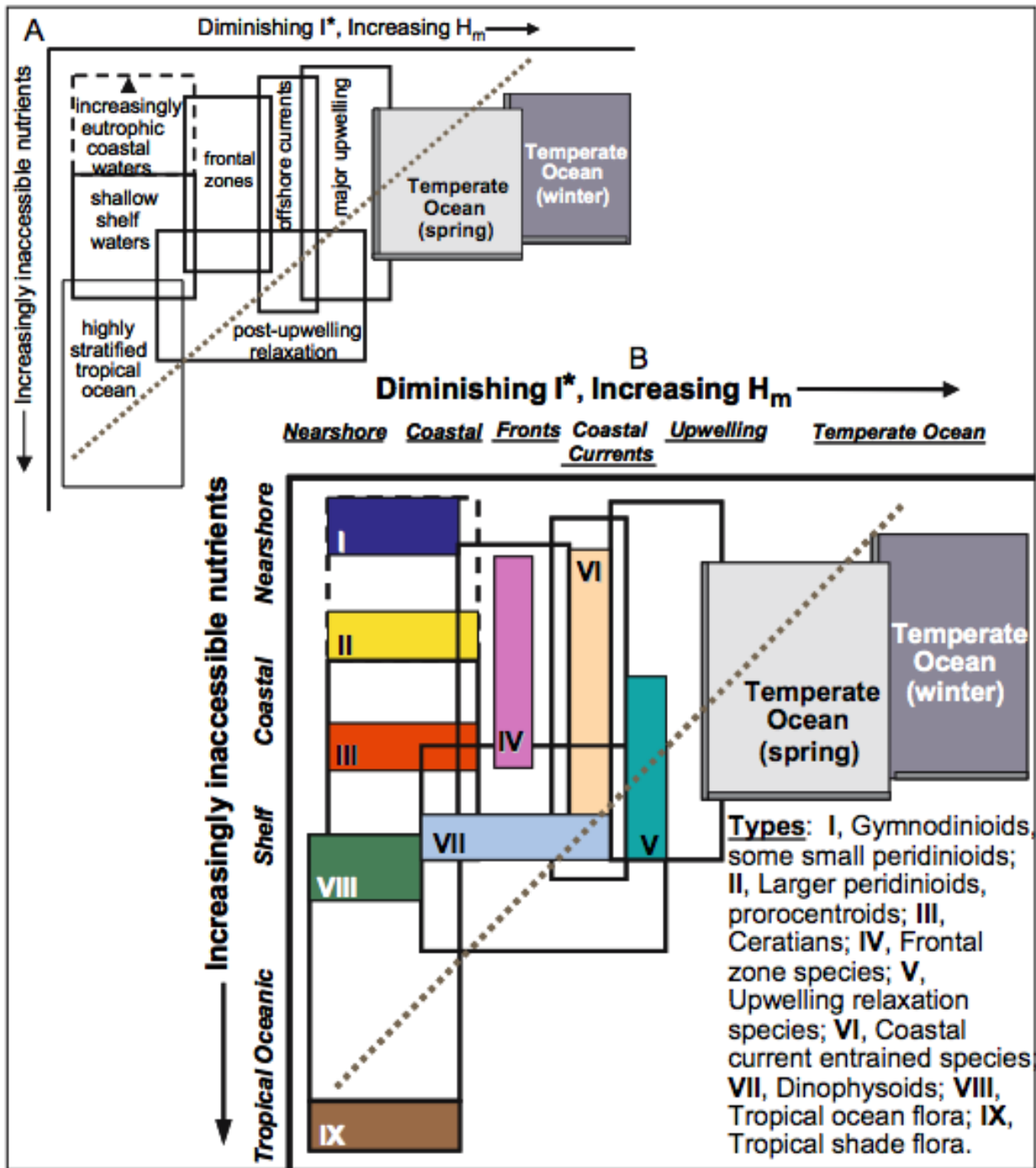


Figura 2. Tipos de formas de vida de dinoflagelados predominantes (I-IX) asociados con la matriz de turbulencia-nutrientes a lo largo de un continuo costero-marino que caracteriza los hábitats pelágicos ( $I^*$  el nivel de irradiancia recibido por las células; profundidad  $H_m$  de la capa mixta; la línea diagonal se aproxima a la principal secuencia sucesional r-to-K representada en Margalef et al. (1979). La superposición de los tipos no siempre implica su contigüidad (rediseñada de Smayda y Reynolds 2003).

**Anexo 4.** Lectura: Crecimiento y forma de las algas marinas.

## **Crecimiento y forma de las algas marinas**<sup>4</sup>

Collado Vides y Braga (1996)

La forma de las algas es resultado, por un lado, de los patrones de construcción que restringen la diversidad morfológica, y por el otro, de la plasticidad fenotípica de las especies que incrementa la diversidad de la manifestación de los grupos. La morfología se puede analizar a partir de la forma de los talos adultos, o bien, como un proceso de transformación intrínseca delimitado por reglas de crecimiento y regulado por el ambiente. La importancia del estudio de la morfología en los trabajos ecológicos ha sido ampliamente mencionada en la literatura ficológica. Los estudios se han basado en la forma externa del talo y su anatomía, y las distintas consecuencias que cada forma tiene en su interacción con el medio ambiente, es decir, la relación que existe entre la forma y la función.

Han sido diversos los enfoques para abordar el estudio de la relación entre la forma y función. Por ejemplo, Norton y otros autores se centraron en el análisis de la modificación de la forma como resultado de ciertas presiones ambientales. Las algas se desprenden del substrato y terminan su ciclo de vida como flotantes adquieren una forma redondeada debido a la pérdida de la polaridad que les da el estar fijas en algún punto. Otro enfoque ha sido analizar la forma desde un punto de vista geométrico, Mark Hay estudia las características geométricas de algunas algas y las asocia al área fotosintética de los talos. También desde un punto de vista biomecánico al igual que Neushul, Hay demuestra la importancia de la rugosidad de la lámina en palos de las grandes laminariales, como un elemento que afecta la difusión de nutrientes.

Brawley y Johnson proponen que conocer la morfología de las algas ayudará a resolver algunos problemas sobre los procesos de reproducción (espórica, gamética o propágulo) y las consecuencias ecológicas que estas relaciones conlleven. Por ejemplo, en los procesos de fertilización, la ubicación física de los órganos reproductivos puede determinar con quién se dará un entrecruzamiento. En el caso de las plantas clonales, la probabilidad de tener contactos intra o interindividuales dependerá de qué tan denso o abierto sea el crecimiento del alga.

En lo que se refiere a estudios autoecológicos, Reed y Foster analizan la importancia de la morfología de las algas laminarias en el crecimiento poblacional. Encuentran que el sombreado de las láminas superiores sobre las inferiores de un mismo talo puede disminuir la tasa de crecimiento general es un caso en el que el estudio de la morfología del alga permite encontrar una parte de la respuesta al comportamiento denso dependiente de este tipo de poblaciones.

En la década de los ochenta, Littler y su grupo proponen la clasificación de las algas marinas en 7 grupos morfofuncionales de las zonas tropicales arrecifales. Sugieren la existencia de diversas convergencias evolutivas entre la forma y función, y agrupan las algas a partir de cualidades morfológicas como son la anatomía y cualidades funcionales como son la tasa fotosintética y la defensa contra la herbivoría. Por otro lado, algales vista de las comunidades algales, Santelices encuentra convergencias morfológicas características de los litorales rocosos templados, y hace énfasis en el hecho de que la morfología puede ser un buen punto de partida para analizar las zonas que se encuentran en el litoral rocoso de Chile. En otra línea de estudios se muestra la importancia de la forma de las algas en relación con las distintas comunidades que albergan. Por ejemplo, se ha visto que el aspecto externo de las algas tiene una estrecha relación con la complejidad del hábitat de los invertebrados, encontrándose diferencias en las comunidades de invertebrados asociados al tipo y grado de ramificación de las algas en las que habitan.

---

<sup>4</sup> Collado Vides, L. y Braga, M. R. A. (1996). Crecimiento y forma de las algas marinas. *Ciencias*, 42, 20-25. Recuperado en Marzo, 2020 de: <https://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/42/CNS04204.pdf>

## Las formas de expresión de las algas<sup>5</sup>

González-González (1994)

Las algas son unas de las más bellas formas de expresión de la naturaleza y son extraordinariamente variables en forma, tamaño, estructuras y funciones. Las hay desde células muy sencillas de unas cuantas micras, hasta las gigantescas algas marinas cuyos talos llegan a alcanzar cerca de los 60 metros y que forman extensos bosques de varios kilómetros de extensión.

La mayor parte son acuáticas de aguas dulces, salobres o marinas, aunque no es difícil encontrarlas desarrollándose sobre cortezas de árboles, tierra humedecida e incluso algunas en condiciones sumamente adversas como son arenas de desierto, nieve, aguas termales o el aire contaminado de las grandes ciudades. También se pueden encontrar algunas como simbioses con animales, hongos y otras plantas como Anthoceros de las briofitas.

La razón biológica de esta diversidad tan grande es que las algas son una expresión multifilética. Las algas no evolucionaron a partir de un ancestro común y es por esto que no hay un conjunto de caracteres unificadores de todas ellas. A partir de ancestros diferentes ha habido respuestas similares, que han dado por resultado caminos evolutivos paralelos entre los descendientes de los diferentes grupos ancestrales, con estadios semejantes entre los caminos. Es decir, hay niveles de organización equivalentes determinados por respuestas adaptativas convergentes a los ambientes comunes en que se presentan y se han presentado a lo largo de su historia. Así puede verse que dentro de cada uno de los grupos emparentados puede haber organismos unicelulares, cenobiales, filamentosos, coloniales, costrosos, con tejidos verdaderos, entre otros. Esto significa que, por ejemplo, no necesariamente están emparentadas dos algas unicelulares o dos filamentosas, mientras que una célula y un filamento sí pueden estarlo. Un análisis del patrón estructural básico utilizando características citológicas y bioquímicas permite entenderlo claramente.

La forma, la apariencia de las algas y su expresión fenotípica, es producto de la interacción de dos elementos fundamentales. El primero, su capacidad intrínseca, o sea las cualidades y propiedades contenidas en su información genética y el segundo, las características extrínsecas, las condiciones del medio ambiente. La gran radiación y la impresionante convergencia de las algas puede ser explicada por la más sencilla y conocida fórmula biológica genotipo + ambiente = fenotipo; esto es, un genotipo tiene diversidad de formas de expresión fenotípica, formas que dependen de cuáles sean las presiones ambientales a las que debe responder el organismo, dentro de sus potencialidades. En este sentido se tienen varias posibilidades entre las que se pueden mencionar:

**1)** que genotipos semejantes se expresen de formas semejante cuando las condiciones del medio también sean semejantes: genotipo 1 en medio tipo 1 = fenotipo a genotipo 1 en medio tipo 1 = fenotipo a; **2)** que genotipos semejantes se expresen de formas diferentes cuando las condiciones del medio también sean diferentes: genotipo 1 en medio tipo 1 = fenotipo a genotipo 1 en medio tipo 2 = fenotipo b; **3)** que genotipos diferentes se expresen de forma diferente en medios también diferentes: genotipo 2 en medio tipo 3 = fenotipo genotipo 3 en medio tipo 4 = fenotipo d; **4)** que genotipos diferentes se expresen de forma semejante como respuesta a

---

<sup>5</sup> González-González, J. (1994). Las algas: sistemática de un grupo filofénético. En Llorente Bousquets, J. & Luna Vega, I. (Comps). Taxonomía Biológica pp. 299-332. Ediciones Científicas Universitarias: serie texto científico universitario. UNAM-Fondo de Cultura Económica. México. p. 309-310.

medios también semejantes: genotipo 1 en medio tipo 1 = fenotipo a genotipo 3 en medio tipo 1 = fenotipo a.

El último ejemplo es un caso de convergencia adaptativa, es decir, hay ocasiones en que no obstante que algunos grupos de algas no compartan información genética, presentan apariencia semejante como respuesta a ambientes similares. Las semejanzas que existen en las algas, producto de convergencias evolutivas pueden no apreciarse en todas las partes que las constituyen. Es decir, la convergencia no implica que dichas algas tengan exactamente la misma forma ni estén constituidas por las mismas partes, pero existen notables parecidos fenotípicos. En otras palabras, hay semejanzas y diferencias en cantidad y calidad de los elementos que conforman las distintas algas. Estas semejanzas y diferencias se refieren a distintos grados de complejidad estructural y funcional de las algas.



# ESTRATEGIA DIDÁCTICA 11

Relaciones intra-interespecíficas. *Interacciones en algas.*



## I. DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología II
SEMESTRE ESCOLAR	Cuarto Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

## II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 2. ¿Cómo interactúan los sistemas biológicos con su ambiente y su relación con la conservación de la biodiversidad?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo:</b> Al finalizar, el alumno: Describirá la estructura y funcionamiento del ecosistema, a partir de las interacciones que se presentan entre sus componentes, para que reflexione sobre el efecto que el desarrollo humano ha causado en la biodiversidad y las alternativas del manejo sustentable en la conservación biológica.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos:</b> Identifica las relaciones intra e interespecíficas que se pueden dar en los ecosistemas. <b>Aprendizajes operativos:</b> 1. Define las relaciones intra e interespecíficas de los ecosistemas. 2. Distingue ejemplos de relaciones intra e interespecíficas en ecosistemas algales.
TEMA(S)	Tema 1. Estructura y procesos en el ecosistema <ul style="list-style-type: none"><li>• Relaciones intra – interespecíficas</li></ul>

## III. ESTRATEGIA

Esta estrategia de enseñanza está diseñada para identificar las relaciones intra-interespecíficas (mutualismo, parasitismo, competencia, depredación, etc.) que se pueden dar en los ecosistemas, mediante actividades de comparación de imágenes, lecturas de casos y ejemplos específicos sobre las

algas, como el caso de los corales y los líquenes.

#### IV. SECUENCIA

TIEMPO DIDÁCTICO	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
DESARROLLO Y ACTIVIDADES	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)</p> <p>Los estudiantes realizan una investigación bibliográfica sobre las relaciones intra e interespecíficas. Registran sus hallazgos en sus cuadernos y los acompañan de imagen representativas.</p> <p>De apertura (1 hora)</p> <p>En clase el profesor proyecta el anexo 1. Imágenes: Relaciones intra e interespecíficas, cuestionando a los estudiantes ¿cuál tipo de relación es la que creen que resalta? Los estudiantes registran en una lista sus respuestas. Posteriormente el profesor explica de qué se trata cada imagen.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(3 horas)</p> <p>Los estudiantes se organizan en cuatro equipos, cada uno trabajara con los anexos: anexo 2. Lectura: Relaciones arrecifales: idilios y desventuras ecológicas; anexo 3. Lectura: Algas... ¿parásitas?; anexo 4. Lectura: Bichos vemos relaciones no sabemos y anexo 5. Lectura: Los líquenes (y anexo 6). De acuerdo a cada lectura representan en un esquema (en papel bond) las relaciones ecológicas intra-interespecíficas que localicen, y señalan un menos (-), un más (+), o un cero (0); dependiendo del beneficio o afectación a las especies involucradas. Al terminar los esquemas, deberán pegarlos alrededor del salón y hacer rotación por equipo para conocer los resultados de los demás equipos.</p> <p><b>Actividades de cierre:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>El profesor proyecta las mismas imágenes del anexo 1. Imágenes: Relaciones intra e interespecíficas a los estudiantes (con orden diferente a la actividad de apertura) , cuestionando ¿cuál tipo de relación es la que se representa?. Los estudiantes registran en una lista sus respuestas. Comparan sus propias respuestas con las de apertura. Para finalizar, el profesor proyecta el anexo 7. Presentación: Características generales de las relaciones inter e intraespecíficas. Material con el cual podrá recapitular y puntualizar aspectos que crea convenientes sobre el tema.</p>

<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b>	<p>Recursos bibliográficos o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Aula-laboratorio de trabajo. Pizarrón y gises de colores o pintarrón y marcadores. Computadora y proyector de video. Papel bond y marcadores de colores.</p> <p>Anexo 1. Imágenes: Relaciones intra e interespecíficas.</p> <p>Anexo 2. Lectura: Relaciones arrecifales: idilios y desventuras ecológicas.</p> <p>Anexo 3. Lectura: Algas... ¿parásitas?.</p> <p>Anexo 4. Lectura: Bichos vemos relaciones no sabemos.</p> <p>Anexo 5. Lectura: Los líquenes.</p> <p>Anexo 6. Ejemplo: Liquen foliáceo <i>Parmelia imbricatula</i>.</p> <p>Anexo 7. Presentación: Características generales de las relaciones inter e intraespecíficas.</p>
<b>EVALUACIÓN</b>	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se juntaran puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b></p> <p>Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto</p> <p>Actividad de inicio (apertura): secuencia de imágenes grupal.....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b></p> <p>Actividad de desarrollo: esquemas de lecturas en equipo.....6 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b></p> <p>Actividad de cierre: contraste de secuencia de imágenes.....2 puntos</p> <p>La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.</p>

## V. REFERENCIAS DE APOYO

<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.</b>	<p>Portal académico. (2019). Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado en Julio, 2019 de:  <a href="https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia2/unidad2/relacionesComunidad/interespecificas">https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia2/unidad2/relacionesComunidad/interespecificas</a></p> <p>Presentación. Factores bióticos. Laboratorio de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 100. Recuperado en Julio, 2019 de:  <a href="http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB_ECOLOGIA/Ecologia_y_evolucion_files/IV%20factores%20bioticos.pdf">http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB_ECOLOGIA/Ecologia_y_evolucion_files/IV%20factores%20bioticos.pdf</a></p>
---	--



<p><b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR</b></p>	<p>Boegue, K. y Val, E. (2011). Bichos vemos relaciones no sabemos. Diversidad e importancia de las interacciones bióticas. <i>Ciencias</i>, 102, 5-11. Recuperado en Marzo, 2020 de: <a href="https://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/102/A1/CNS102A01.pdf">https://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/102/A1/CNS102A01.pdf</a></p> <p>Coutiño, B. y Montañez, A. L. (2000). Los líquenes. <i>Ciencias</i>, 59, 64-65. Recuperado en Julio, 2019 de: <a href="http://www.ejournal.unam.mx/cns/no59/CNS05911.pdf">http://www.ejournal.unam.mx/cns/no59/CNS05911.pdf</a></p> <p>Galicia-García, C. (2015). Algas... ¿parásitas?. <i>Cymbella</i>, 1(3), 21-28.</p> <p>Herrera, T. y Ulloa, M. (1990). <i>Parmelia imbricatula</i>. Acuarela a color. Acervo Histórico de la Biblioteca del Instituto de Biología, UNAM. En Herrera, T. y Ulloa, M. El reino de los hongos: micología básica y aplicada. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México, D. F., p.353. Recuperado en Julio, 2019 de: <a href="http://unibio.unam.mx/irekani/handle/123456789/32022?mode=full&amp;proyecto=Irekani">http://unibio.unam.mx/irekani/handle/123456789/32022?mode=full&amp;proyecto=Irekani</a></p> <p>Ruíz, Z. M. A., Hernández, A. H. y Jorgensen, P. (2008). Relaciones arrecifales: idilios y desventuras ecológicas. <i>Ecofronteras. De nuestro pozo. Universidad Nacional Autónoma de México</i>, 34, 6-9. Recuperado en Marzo, 2020 de: <a href="http://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/777/772">http://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/777/772</a></p>
<p><b>COMENTARIOS ADICIONALES</b></p>	<p>Es responsabilidad del docente conocer la bibliografía recomendada para los estudiantes.</p>

## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Imágenes: Relaciones intra e interespecíficas.

**Anexo 2.** Lectura: Relaciones arrecifales: idilios y desventuras ecológicas.

**Anexo 3.** Lectura: Algas... ¿parásitas?.

**Anexo 4.** Lectura: Bichos vemos relaciones no sabemos.

**Anexo 5.** Lectura: Los líquenes.

**Anexo 6.** Ejemplo: Liquen foliáceo *Parmelia imbricatula*.

**Anexo 7.** Presentación: Características generales de las relaciones inter e intraespecíficas.

Anexo 1. Imágenes: Relaciones intra e interespecíficas.

Relaciones intra e interespecíficas <sup>1</sup>

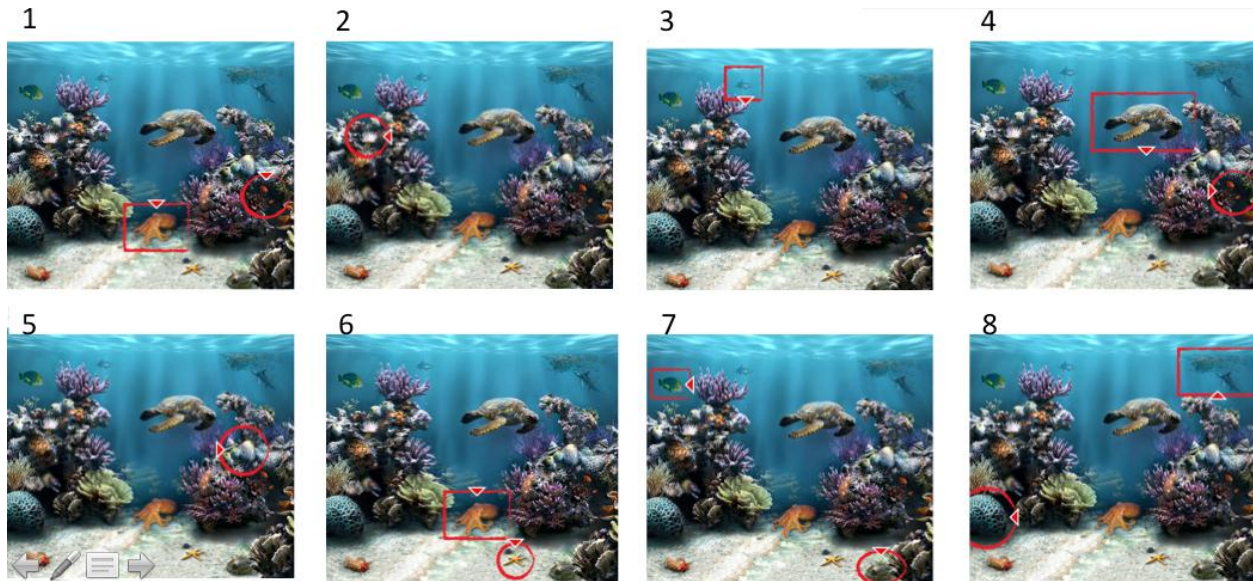


Tabla 1. Relaciones intra e interespecíficas correspondientes al número de imagen anterior.

No. de imagen	Tipo de relación
1	Mutualismo
2	Comensalismo
3	Parasitismo
4	Depredación
5	Competencia por espacio
6	Competencia reproductiva
7	Competencia por alimento
8	Competencia

A la relación en la que un organismo de una especie se beneficia de otro organismo de especie distinta sin perjudicarlo se le denomina **comensalismo**.

En la naturaleza es común ver que los individuos pelean por la disponibilidad de alimento. Cuando por alguna razón externa se reduce el alimento, se desencadena inevitablemente una lucha que generalmente gana el más grande, fuerte o astuto. A esta relación se le conoce como **competencia por alimento**.

La **competencia por espacio** ocurre cuando varios individuos de la misma especie o de distinta, pelea por obtener un lugar físico en el hábitat al que pertenecen, por tanto, esta relación puede ser interespecífica o intraespecífica. En este caso se trata de la segunda por ser

de la misma especie. Se dice se dice que hay **competencia por espacio** cuando dos individuos de la misma especie o distinta luchan por conseguir un espacio físico, en el hábitat que les corresponde.

La reproducción es la máxima de cualquier especie, permite perpetuarse en el tiempo y es instintiva. Para lograrlo, los individuos luchan con distintas estrategias. A esta relación se le conoce como **competencia reproductiva**. La **cooperación** consiste en la relación de individuos de la misma especie que se unen para trabajar en equipo con fines de reproducción, protección, comunicación y en general para la sobrevivencia. La **depredación** consiste en un tipo de relación en que un organismo de una especie, casa y da muerte a otro organismo de otra especie para alimentarse.

<sup>1</sup> Portal académico. (2019). Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado en Julio, 2019 de: <https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia2/unidad2/relacionesComunidad/interespecificas>

## Relaciones arrecifales: idilios y desventuras ecológicas <sup>2</sup>

Ruíz et al. (2008)

### Relaciones íntimas arrecifales

Quiero vivir y tenerte junto a mí. Esta frase, muy humana, resalta el deseo de perdurar, pero dependiendo de otras personas o incluso de objetos o situaciones. Las "relaciones" entre los organismos que tienen que ver con un arrecife no distan mucho de ese tipo de dependencia o codependencia, ya sea para la propia sobrevivencia o para que al relacionarse, se beneficien varias especies o individuos.

Los corales duros son los creadores de las estructuras llamadas arrecifes coralinos. ¿Cómo lo hacen? Gracias a su capacidad para fabricar un material sólido de carbonato de calcio que les sirve de esqueleto externo, ya que nacen sin uno interno; es decir, son animales invertebrados. Con la acumulación de esqueletos individuales se forman colonias, y muchas colonias van dando la estructura base de un arrecife.

Los corales viven en asociación con un alga unicelular llamada zooxantela.

Se trata de una relación realmente íntima: numerosas zooxantelas se introducen a cada individuo de coral y viven dentro de él intercambiando alimento que por un lado ayuda a "vivir" a las zooxantelas, y por otro lado sirve para que el coral deposite más rápido su esqueleto. Esta relación es entonces, la madre de todas las relaciones en el arrecife, dado que ha permitido a los corales "construir" grandes estructuras sólidas en aguas someras de casi todas las costas tropicales.

Las costas tropicales suelen tener aguas transparentes y temperaturas cálidas, necesarias para que la relación coral-zooxantela se mantenga idílicamente... Aunque la relación se ha puesto en riesgo debido a numerosas amenazas. En cuestiones de salud, las altas temperaturas generalmente causan problemas. En el caso de los mares tropicales, de por sí con temperaturas altas, el calentamiento global ha provocado que éstas se incrementen más de lo deseable

y entonces las zooxantelas salen del coral (posiblemente porque no soportan una relación tan "tórrida"), dejándolo en un estado de indefensión llamado blanqueamiento coralino. Esta "depresión" del coral en muchos casos lo lleva a la muerte, lo que transforma cada vez más áreas en cementerios coralinos.

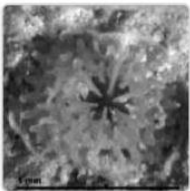
### Relaciones extramaritales

La posibilidad de formar grandes construcciones sólidas permite a los arrecifes de coral ser atractivos a un gran número de organismos que viven dentro o sobre ellos (en patio de vecindad o condominio); los usan como refugio temporal u ocasional (casas de seguridad); los visitan para alimentarse de corales u otros organismos (restaurante con la más alta variedad de platillos exóticos); los utilizan como áreas de reproducción (hoteles de paso subacuáticos), o quizá reciben algún tratamiento de limpieza bucal o de cuerpo entero (clínicas dentales o spas) Claro que varios organismos no visitan a los arrecifes por una sola razón; algunos los usan como refugio y área de alimentación, otros anexas a la lista su reproducción y tal vez también se quedan a vivir. La relación coral-zooxantela se amplía a muchos organismos animales y no animales, digamos que extramaritalmente.

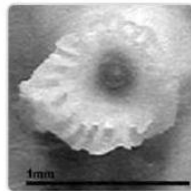
Si bien las relaciones íntimas y las extramaritales en los arrecifes son

### Corales duros:

Organismos formados por pólipos individuales que excretan un exoesqueleto duro de carbonato de calcio. Hay representantes de la clase Anthozoa y de la clase Hydrozoa, del Phylum Cnidaria. El pólipo es un saco con tres capas histológicas diferenciadas, un extremo oral con una boca y tentáculos alrededor, y un extremo que se fija al sustrato mediante el exoesqueleto que depositan. El exoesqueleto de cada pólipo individual es llamado comúnmente "coralito".



Coralito de Anthozoa (*Acrópora*)



Coralito de Hydrozoa (*Stylaster roseus*)

(Figuras tomadas de Ruíz-Zárate y Arias-González 2005, Coral Reefs, 24:56)

<sup>2</sup> Ruíz, Z. M. A., Hernández, A. H. y Jorgensen, P. (2008). Relaciones arrecifales: idilios y desventuras ecológicas. Ecofronteras. De nuestro pozo. Universidad Nacional Autónoma de México, 34, 6-9. Recuperado en Marzo, 2020 de: <http://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/777/772>

## El blanqueamiento coralino:

Es un fenómeno que implica la expulsión de las zooxantelas simbiotas de los corales, de tal forma que el tejido de éstos queda sin coloración alguna y se puede observar el exoesqueleto a través del tejido blanco. Al ser el exoesqueleto de carbonato de calcio, la coloración que predomina entonces en los corales es el blanco. De ahí el nombre del fenómeno.



estrechas y altamente complejas, no se restringen a los límites físicos del arrecife; otros ecosistemas asociados son "invitados" a participar en esta fiesta de interacciones biológicas.

Quien se precie de conocer el paradisiaco Caribe mexicano no se imagina el conjunto de ecosistemas estrechamente integrados e interdependientes que ahí se conjuntan. Estas playa de aguas cristalinas y arenas resplandecientes son el producto de refinados procesos de interacción que ocurren en, dentro y sobre el arrecife. Uno de estos procesos es la erosión. Cuando es resultado de la actividad de los organismos que viven dentro del coral o que se alimentan de corales y algas que crecen sobre el arrecife, la conocemos como "bioerosión" y en ella participan los peces loro, damiselas, erizos, gusanos y esponjas. Cuando es causada por las olas que golpean el arrecife o como efecto de un huracán, o bien, por el naufragio de una embarcación, le llamamos erosión física o mecánica. Un tercer tipo es la erosión química causada por el ácido carbónico que se encuentra en el agua marina y que disuelve el carbonato de calcio en un proceso parecido a la caries dental.

De hecho, las condiciones de acidez del agua del Caribe son tan diferentes de las del Pacífico mexicano, que resultan determinantes para que el desarrollo de los arrecifes y sus ecosistemas asociados, como son las playas arenosas, estén presentes en las costas del Caribe pero no en las del Pacífico. ¡Vaya!

Quien se precie de conocer el paradisiaco Caribe mexicano no se imagina el conjunto de ecosistemas estrechamente integrados que ahí se conjuntan. Estas playa de aguas cristalinas y arenas resplandecientes son el producto de refinados procesos de interacción que ocurren en, dentro y sobre el arrecife.

Muchos organismos horadadores (que hacen agujeros) viven dentro de los corales: poliquetos, bivalvos, esponjas. Numerosos peces altamente móviles visitan a los arrecifes como refugio, y diversos invertebrados –como las langostas–, las tortugas marinas y tiburones, buscan ahí su alimento. Los tiburones gata y varias especies de peces comerciales tienen sus periodos reproductivos en hábitats arrecifales; las barracudas y muchos otros peces visitan ciertos puntos del arrecife donde especies de camarones limpiadores se introducen en sus bocas y les quitan los parásitos que puedan tener.

Y aún hay más de las relaciones entre los arrecifes y sus ecosistemas asociados. Uno de los beneficios de las formaciones arrecifales es proteger a nuestras costas de los efectos de la erosión física causada por el oleaje en las tormentas. Esta función protectora favorece la formación de las lagunas arrecifales, localizadas entre la línea de costa y la cresta arrecifal. Las lagunas son de poca profundidad y de aguas cristalinas con oleaje moderado; el fondo es de arenas calcáreas y fragmentos de organismos del arrecife. Las condiciones de profundidad, transparencia, sustrato y oleaje crean un ambiente propicio para el establecimiento y crecimiento de extensas praderas de vegetación acuática. En el caso particular del Caribe mexicano, estas praderas se componen de pastos marinos conocidos como "ceibadales".

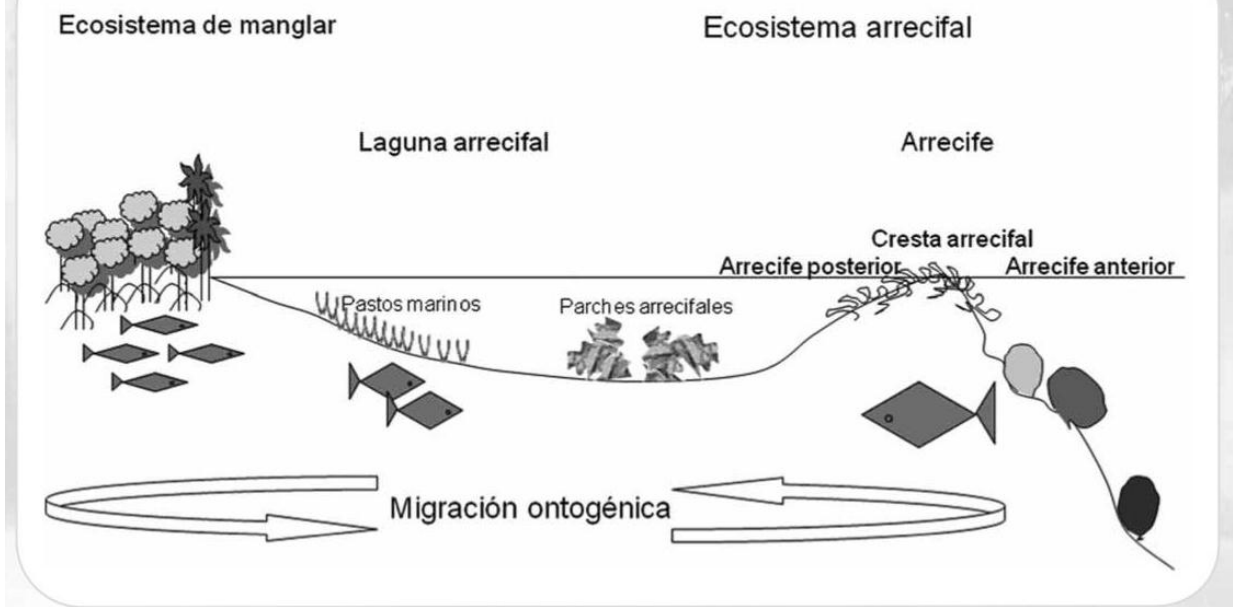
La relación entre las praderas y el arrecife podría llamarse de mutua dependencia: el arrecife brinda protección física y los pastos estabilizan el sedimento y previenen la turbidez. También, entre estos dos ambientes y otros adyacentes, suceden migraciones ontogénicas de peces y otros organismos que en sus diferentes etapas de desarrollo y de acuerdo a sus necesidades van cam-

biando de hábitat, por ejemplo, del manglar a los pastos, de los pastos a los parches arrecifales, de éstos al arrecife y en algunos casos en sentido inverso (figura 1). Esto lo puede entender muy bien cualquiera que haya tenido que emigrar de una escuela a otra, de una ciudad a otra o incluso de una pareja a otra, conforme haya ido "creciendo".

Otra función importante de los ceibadales es proveer de alimento a organismos del arrecife, como tortugas, peces e invertebrados, que toman sus nutrientes del agua y del sedimento, reduciendo así la cantidad de materia orgánica presente (son como los cochinitos que se tenían en el patio de muchas casas para que se comieran los desperdicios).

En el delicado balance de condiciones ambientales óptimas, los bosques de manglar, localizados en lagunas costeras y costas salobres, también tienen su contribución. Éstos forman la primera línea de defensa contra el exceso de nutrientes originarios de la tierra (restos de plantas y animales acarreados principalmente por corrientes pluviales y fluviales). Podemos verlos como extensas plantas de tratamiento de aguas y lodos; son filtros naturales que disminuyen la carga orgánica del agua que llega de la

Figura 1



tierra al mar. Son además una extensión misma del arrecife; por ejemplo, los peces recurren a los sistemas de manglar por protección, alimentación y zonas de crianza. De hecho, ecosistemas arrecifales acoplados a ecosistemas de manglar poseen comunidades con mayor variedad de peces y también ofrecen mayores volúmenes de captura de especies comerciales como el mero, pargo o sábalo.

### El hombre y el arrecife

¿Debemos cuidar los arrecifes sólo porque son un ecosistema conectado estrechamente con otros? Bueno, si esto no es suficiente, qué tal un breve reconocimiento de los múltiples beneficios que obtenemos de ellos. ¿Ceviche de caracol o boquinete al pil pil? ¿Por qué no mejor langosta a la mantequilla? Esto es solo un ejemplo de algunos productos del arrecife que consumimos habitualmente y que proveen de empleo e importantes ingresos económicos a numerosas comunidades costeras en México y el Caribe.

Y para los que no comemos mariscos, pasar un fin de semana descansando en

la playa a la sombra de una palmera no es algo a lo que se dice no tan fácilmente. El turismo de "sol y playa" constituye uno de los principales generadores de empleo y divisas para el estado de Quintana Roo, y esto es posible gracias a los servicios ambientales proporcionados por el arrecife. De igual modo, algunos lugares de la costa del Caribe mexicano son considerados atractivos mundiales para el buceo y la pesca deportiva.

La provisión de sustancias activas para la elaboración de medicamentos es otro de los grandes beneficios que obtenemos por la explotación directa de estos ecosistemas; en ciertos sitios incluso se extrae la roca calcárea para elaborar materiales de construcción.

Así, los arrecifes no son solamente protagonistas en una compleja trama de interacciones biológicas y ambientales, sino que constituyen una parte fundamental de nuestras actividades económicas. Sin embargo, nuestra falta de conciencia para llevar a cabo una explotación sustentable, aunada a la poca efectividad en la aplicación de las políticas de manejo de los recursos naturales, está llevando a los arrecifes a

condiciones de deterioro más allá de su capacidad de recuperación. Es decir, somos entes que no sabemos cuidar las relaciones, trátese del tipo que sea, y el reto es realmente poder construir las y consolidarlas. 🔄

Miguel Ángel Ruiz es profesor del Instituto Tecnológico de Chetumal (miguel\_ruiz\_zarate@yahoo.com); Héctor Hernández es investigador del Área de Conservación de la Biodiversidad de ECOSUR (hbernand@ecosur.mx), y Pablo Jorgensen es posdoctorante en ECOSUR Chetumal (pjorgensen@ecosur.mx).

# Algas... ¿parásitas?

## Algae... parasites?

Citlalli Galicia-García\*

Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Programa de Maestría en Ecología y Pesquerías. Universidad Veracruzana.  
Miguel Hidalgo 617, Col. Río Jamapa, Boca del Río, Veracruz. C.P. 94290. México.

Laboratorio de Biología, Instituto Tecnológico de Boca del Río, km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río,  
Veracruz. A.P. 68. México.

\*Correspondencia: citlagg@yahoo.com

### RESUMEN

Pensamos en las algas como organismos autótrofos independientes, sin embargo, existen algunos casos de algas rojas, pardas y verdes que son parásitas. Este trabajo se refiere a ellas, así como a algunos de sus hospederos y los daños que les pueden causar, incluyendo al hombre.

*Palabras clave: algas, hospedero, parásito, prototecosis.*

### ABSTRACT

We think of algae as independent autotrophic organisms, however, there are some cases of red, brown and green algae that are parasitic. Some of them are mentioned in this work along with their hosts, including humans, and the damage they can cause in them.

*Key words: algae, host, parasite, protothecosis.*

Las algas son tan comunes como las plantas en nuestra vida cotidiana, se distinguen del resto de los seres vivos de nuestro planeta por ser capaces de elaborar su propio alimento, es decir, tienen la increíble capacidad de tomar dióxido de carbono del aire (el gas que exhalamos al respirar) o el que está disuelto en el agua, utilizan asimismo la luz del sol y, por medio de un conjunto de reacciones que se llevan a cabo dentro de su cuerpo, forman sustancias de las cuales se pueden alimentar al tiempo que liberan oxígeno como producto de desecho. ¡Para ellas el oxígeno que respiramos son sobras! Muchas algas son microscópicas (mucho más pequeñas que la cabeza de un alfiler) y habitan en el suelo húmedo, la nieve, ríos, arroyos, lagos, lagunas y mares. También las hay de mayor tamaño,

desde algunos centímetros hasta un metro o más de 50 metros (en algunas especies marinas) pero debido a que viven en el fondo de ríos, riachuelos y lagos o las costas rocosas y zonas profundas del mar, lugares que muchos de nosotros difícilmente visitamos o exploramos, son poco conocidas.

Las algas son un conjunto de organismos con origen evolutivo diferente, esto quiere decir que sus ancestros están poco relacionados entre sí y como consecuencia tienen formas y modos de vida muy variados. Dentro de este gran conjunto de organismos se conocen algas macroscópicas (visibles a simple vista) a las cuales se les ha clasificado de acuerdo con su color como algas verdes, algas rojas y algas pardas o cafés. Estas algas, como se mencionó anteriormente, pueden producir su propio alimento, y por lo tanto otros organismos (invertebrados, peces, tortugas y mamíferos acuáticos) se alimentan y dependen de ellos.

Pero, ¿y si no todas las algas produjeran su propio alimento? ¿y si hubiera algunas que se nutrieran de otros seres vivos? Un parásito por definición es un ser vivo que se alimenta de otro ser vivo causándole generalmente algún perjuicio o enfermedad. Algunos parásitos son tan comunes y conocidos como una pulga o un piojo que chupan sangre o una lombriz que vive en los intestinos del hombre; debido a esto son considerados como algo destructivo ya que se tiene la idea de que un parásito se nutre de su hospedero (el organismo al que parasita), le hace daño y termina destruyéndolo, aunque no siempre ocurre así.

Por otro lado, es difícil imaginar que las algas pudieran ser parásitas debido a que son proveedoras de alimento y oxígeno, no obstante, algunas lo son. No obstante, algunas lo son. Las

<sup>3</sup> Galicia-García, C. (2015). Algas... ¿parásitas?. *Cymbella*, 1(3), 21-28.

algas parásitas suelen ser pequeñas, pueden estar constituidas por una sola célula, por cadenas de células (llamadas filamentos) o bien pueden formar pequeños cuerpos que crecen dentro o encima de su hospedero, pero que, a diferencia de las algas que tienen vida libre, no presentan color (suelen ser blancas) o son de colores poco llamativos.

Las algas parásitas más comunes y abundantes, especialmente en el mar, pertenecen al grupo de las algas rojas. Se conocen por lo menos 116 especies de algas rojas con vida parásita. Estas algas infectan casi siempre a otras algas rojas. Los nombres científicos de algunas de ellas son: *Janczewskia gardneri* (Fig. 1), *Harveyella mirabilis*, *Ululania stellata*, *Bostrychiocolax australis* y *Holmsella pachyderma* (Fig. 2).

Las algas pardas también tienen algunos representantes parásitos. Estas especies tienen forma de filamentos y se encuentran distribuidas tanto en aguas frías (templadas) como en aguas cálidas (tropicales). Las especies conocidas son *Streblonema parasiticum*, *Kuetzingiella maculans* y *Herpodiscus durvilleae* (Fig. 3).

El grupo de las algas verdes se distingue de las pardas porque sus especies parásitas son más comunes y sus hospederos no solo son otras algas, sino que pueden parasitar incluso plantas terrestres. El género *Cephaleuros* es el más común de todos, está ampliamente distribuido y crece sobre muchas plantas de importancia económica. En Brasil se ha reportado que crece sobre 448 especies de plantas terrestres. *Cephaleuros virescens* (Figs. 4 y 5), por ejemplo, es una especie parásita que crece bajo la superficie de

las hojas y es relativamente inocua (no dañina), sin embargo, en los cultivos de té puede causar daño que va de moderado a severo. Es el alga parásita verde más común y de más amplia distribución, se encuentra en países tropicales y subtropicales del mundo en plantas tan conocidas como la guayaba (*Psidium guajava*), el limón (*Citrus aurantifolia*) el aguacate (*Persea americana*), el mango (*Mangifera indica*), anturios (como *Anthurium andraeanum*), orquídeas (*Cattleya* sp., *Vanilla planifolia*) y el mangle negro (*Avicennia germinans*) entre otros.

Por último, y todavía más impactante, es el caso de algas verdes parásitas que pueden afectar a algunos animales incluyendo al hombre (Figs. 6 y 7). *Helicosporidium parasiticum* parasita larvas de insectos en los árboles y se sabe que *Prototheca wickerhamii* (Fig. 8), *P. stagnora* y *P. zopfii* ocasionan en los humanos una enfermedad denominada prototecosis, la cual puede implicar lesiones de la piel y afectación generalizada de órganos internos. Las algas son nuestra fortuna y al mismo tiempo un motivo de temor y cuidado.

#### LECTURAS RECOMENDADAS:

- Blouin, N.A. & C.E. Lane. 2012. Red algal parasites: models for a life history evolution that leaves photosynthesis behind again and again. *BioEssays* 34: 226-235.
- Nelson, S.C. 2008. *Cephaleuros* species, the plant-parasitic green algae. *Plant Disease* 43: 1-6.

#### AGRADECIMIENTOS

A Alma Gabriela Copado-Rivera y Luis Humberto Quintana-Manotas por sus comentarios al manuscrito, y a Yuri B. Okolodkov por sus observaciones.



Fig. 1. *Janzcweskia gardneri* parasitando a un alga roja marina (*Laurencia* sp.) Obsérvese el color más claro de la parásita. Recuperado el 4 de enero de 2016 de [http://www.boldsystems.org/index.php/Taxbrowser\\_Taxonpage?taxid=606939](http://www.boldsystems.org/index.php/Taxbrowser_Taxonpage?taxid=606939)



Fig. 3. *Herpodiscus durvillaeae*. Se observan lesiones en forma de anillo ocasionadas por la parásita sobre *Durvillaea* antártica. Fotografía: Eric Henry. Recuperado el 6 de enero de 2016 de [http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=11863](http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=11863)



Fig. 2. *Holmsella pachyderma*. Se aprecian los crecimientos de la parásita en forma de domos claros sobre *Gracilariaopsis longissima*. Recuperado el 4 de enero de 2016 de [http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=e7acca3aa55d812e1](http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=e7acca3aa55d812e1)



Fig. 4. *Cephaluros virescens* creciendo sobre una hoja de aguacate. Recuperado el 6 de enero de 2016 [http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Chlorophyceae/filaments/branched/CEPHALEUROS/Cephaluros\\_Image\\_page.htm](http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Chlorophyceae/filaments/branched/CEPHALEUROS/Cephaluros_Image_page.htm)



Fig. 5. *Cephaluros virescens* sobre un limón. Se observa como manchas negras en la superficie del fruto. Recuperado el 6 de enero de 2016 [http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Chlorophyceae/filaments/branched/CEPHALEUROS/Cephaluros\\_Image\\_page.htm](http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Chlorophyceae/filaments/branched/CEPHALEUROS/Cephaluros_Image_page.htm)



Fig. 7. Úlceras en la pata de un perro ocasionadas por *Prototheca* sp. Recuperado el 7 de enero de 2016 de <http://www.vetbook.org/wiki/dog/index.php?title=File:Protothecosis02.jpg>



Fig. 6. Protothecosis dérmica. Afección de la piel ocasionada por *Prototheca*. Recuperado el 7 de enero de 2016 de <http://www.healthcarethai.com/algosis/>

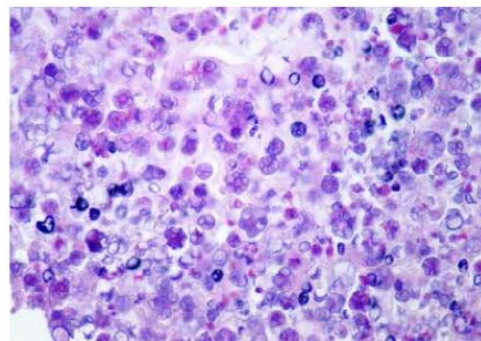


Fig. 8. *Prototheca wickerhamii*. Fotomicrografía de una infección en humanos. Obsérvese las formaciones en forma de flores. Recuperado el 8 de enero de 2016 de "Prototheca wickerhamii.hematoxylin eosin stain" by Jerad M Gardner, MD - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons - [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prototheca\\_wickerhamii.hematoxylin\\_eosin\\_stain.jpg#/media/File:Prototheca\\_wickerhamii.hematoxylin\\_eosin\\_stain.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prototheca_wickerhamii.hematoxylin_eosin_stain.jpg#/media/File:Prototheca_wickerhamii.hematoxylin_eosin_stain.jpg)





# Bichos vemos relaciones no sabemos

diversidad e importancia de las interacciones bióticas

**L**as interacciones bióticas son aquellas relaciones que se establecen entre dos o más organismos. Como resultado de éstas, los individuos pueden verse beneficiados, perjudicados o no ser afectados, dependiendo del contexto en el que ocurran. En general, la mayoría de las interacciones que mantienen las especies se originan a partir de su necesidad de obtener los recursos necesarios para sobrevivir (agua, nutrimentos o luz, en el caso de las plantas). Esto es, los organismos de una especie son el alimento de individuos de otra especie. En el caso particular de la interacción conocida como competencia, lo que ocurre es que la presencia simultánea de dos especies limita la cantidad de recursos disponible para los individuos de ambas especies. Resulta fascinante, sin embargo, encontrar las variantes de interacciones bióticas en las que estas relaciones antagónicas han derivado en relaciones positivas que no necesariamente tienen que ver con la alimentación. Por ejemplo, la depredación de frutos ha derivado en sistemas eficientes de dispersión de semillas, y la depredación de óvulos o polen han dado origen a interesantes sistemas de polinización.

## Blanco y negro o ¿una gama de grises?

Históricamente, los biólogos han catalogado las interacciones bióticas por el efecto que tiene una especie sobre la otra, y han considerado un número limitado de tipos de in-

<sup>4</sup> Boegue, K. y Val, E. (2011). Bichos vemos relaciones no sabemos. Diversidad e importancia de las interacciones bióticas. *Ciencias*, 102, 5-11. Recuperado en Marzo, 2020 de: <https://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/102/A1/CNS102A01.pdf>

teracción (competencia, depredación, mutualismo, comensalismo y amensalismo). Sin embargo, al evaluar estas relaciones con mayor detalle, muchos estudios han detectado que el mundo no es blanco y negro; es decir, las interacciones de dos especies pueden variar en un continuo que va del antagonismo (la interacción negativa entre dos organismos) al mutualismo (cuando los dos organismos se benefician por su interacción), dependiendo del contexto ambiental en el que ocurran, y de los costos y beneficios que la relación representa para cada interactuante (figura 1).

Algunos ejemplos clásicos de cada tipo de interacción pueden servir para ilustrar los tonos de gris en que éstos derivan. La interacción en donde los individuos de dos especies resultan perjudicados por la limitación de recursos es un antagonismo que se conoce tradicionalmente como "competencia interespecífica". En este tipo de interacción



puede haber una especie ganadora (que se queda con el lugar y los recursos de otra) y una perdedora (que se extingue o desaparece localmente). De modo alternativo, las dos especies pueden coexistir, siempre y cuando la competencia entre ellas sea menor que entre los individuos de una misma especie; esto es, hay más querrela por los recursos (alimento, espacio, parejas, etcétera) entre parientes cercanos (individuos de una especie) que entre los lejanos (de diferentes especies). Cuando entramos a una selva, somos

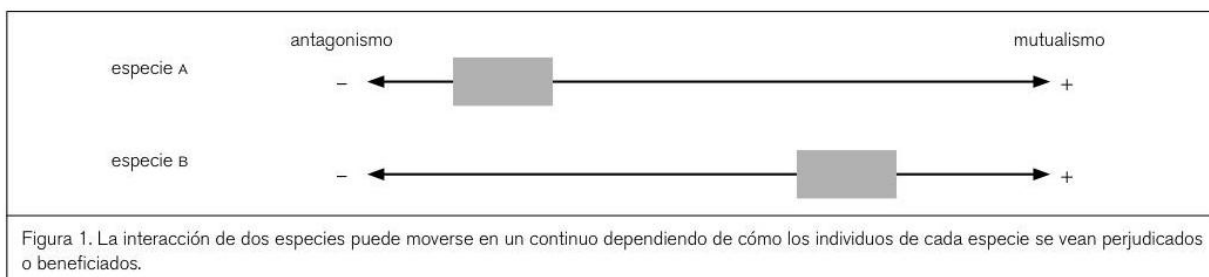
testigos de un ejemplo clásico de competencia por la limitación de luz. Los árboles de una selva no pueden desplazarse para encontrar un mejor lugar donde vivir, así que aquellos que tienen la capacidad de crecer más rápido logran tener acceso a más luz que los que se quedan rezagados a la sombra de éstos. En tal caso podemos considerar que los primeros son competitivamente superiores a los segundos.

Pero no todas las plantas que crecen en un mismo lugar establecen esta interacción antagónica. Existe una variante

de interacción de dos plantas que se conoce como "facilitación". El investigador Alfonso Valiente, del Instituto de Ecología de la UNAM, ha estudiado esta interacción en los desiertos mexicanos. En esos ambientes, en donde las condiciones ambientales son muy estresantes (poca agua, fuerte insolación y altas temperaturas), hay muchas especies de plantas que solamente pueden germinar debajo de otras que les

proveen la humedad suficiente y las protegen de la insolación. Por ejemplo, la cactácea *Lophocereus schottii* del desierto de Baja California germina únicamente bajo la copa del arbusto *Larrea tridentata*.

Cuando un animal se alimenta de un organismo, estamos hablando de la relación antagónica denominada "depredación". El efecto más evidente es la muerte de la presa que representa el alimento del depredador. Un tono gris de esta relación antagónica ocurre cuando un animal, hongo



o bacteria consume porciones de otros individuos. Dentro de estas variantes se encuentran las interacciones conocidas como "parasitismo" y "herbivoría", y las consecuencias para el individuo que es atacado dependen de la intensidad y duración de la interacción. Por ejemplo, cuando un venado le da una mordida a una planta pequeña, generalmente el efecto es mortal, pero cuando come sólo algunas hojas de una planta madura es poco probable que ésta muera, aunque sí podría disminuir su capacidad de reproducirse, produciendo menos flores, frutos y semillas. En contraste con ese panorama "negro" existe un escenario "blanco" de

entre las plantas y animales que, por alimentarse de su néctar o polen, también polinizan sus flores al moverse de flor en flor. La dispersión de semillas la llevan a cabo animales que se alimentan de los frutos y semillas de las plantas. Después de digerir y excretar las semillas, éstas son depositadas en sitios en donde pueden germinar. Dicha interacción también ocurre de manera accidental cuando las semillas se pegan al pelaje o plumaje de mamíferos y aves. En el caso de las dos interacciones mencionadas, las plantas se ven beneficiadas por el transporte de sus gametos o semillas a nuevos sitios, mientras que los animales



esta interacción. Ken Paige y Tom Whitham describieron un caso paradójico relacionado con la herbivoría, en el que la planta *Ipomopsis aggregata* parece beneficiarse cuando es consumida por venados. Cuando los venados remueven el escapo en donde crecen las flores, la planta es capaz de activar los mecanismos necesarios para producir todavía más flores y, como consecuencia, producir más frutos que cuando no es mordida por herbívoros.

Como mencionamos anteriormente, aunque muchas interacciones se establecen como consecuencia de la necesidad de conseguir nutrimentos (por ejemplo, la luz en los árboles o las hojas en los herbívoros), algunas de ellas han derivado en la obtención de otros beneficios, como el transporte de semillas, la protección contra enemigos naturales o el apropiarse de algún tipo de refugio. Bajo tales condiciones, muchas interacciones que en principio eran antagónicas fueron evolucionando a lo que hoy conocemos como "mutualismo". Dicho tipo de interacción se caracteriza porque los individuos de diferentes especies se ven beneficiados por su presencia mutua. Ejemplos clásicos son la polinización, la dispersión y la simbiosis. La polinización ocurre

obtienen alimentos energéticos, como el néctar o la pulpa de las frutas.

Otro tipo de mutualismo tiene que ver con la protección contra el ataque de los herbívoros, y ocurre cuando las plantas producen ciertas recompensas o refugios. El caso más conocido fue descrito por el ecólogo Daniel Janzen en 1967, quien descubrió que en las selvas tropicales las hormigas *Pseudomyrmex ferruginea* habitan en las espinas de las plantas de *Acacia cornigera*, pariente de los hui-zaches, y las defienden activamente. Las hormigas mutualistas de esta especie de *Acacia* patrullan constantemente las ramas, hojas y tronco del árbol con el fin de remover cualquier otro animal o planta trepadora que encuentren sobre su planta hospedera. Además de refugio, las hormigas de *Acacia cornigera* obtienen comida rica en glucógeno producida por la planta en el extremo de los foliolos, llamados "cuerpos de Belt". En tal situación, las hormigas son consideradas como "defensas vivientes" de las plantas. Sin embargo, una gama de grises de esta interacción se presenta cuando las plantas son colonizadas por especies de hormigas que no defienden tan eficientemente la planta.

Un extremo "blanco" de las interacciones mutualistas es la simbiosis, pues implica que una de las especies no puede vivir sin la otra y viceversa, por lo que si una desaparece la otra también. Un ejemplo de simbiosis ocurre entre las vacas y las bacterias que habitan en su intestino, ya que esas bacterias sólo viven en el rumen de las vacas; en contraparte, las vacas necesitan a las bacterias para digerir su comida, que de otra manera no podrían digerir. Otro ejemplo de simbiosis extrema es el fascinante caso del origen de las células que tienen núcleo. La famosa bióloga estadounidense Lynn Margulis propuso que las mitocondrias de todas las células de organismos multicelulares se originaron por la estrecha relación que se estableció hace aproximadamente dos mil millones de años entre organismos unicelulares: una bacteria de vida libre que podía respirar oxígeno y un organismo unicelular que poseía núcleo y era capaz de consumir moléculas y desplazarse activamente. Las ventajas que cada uno de los organismos obtuvo de esta interacción originaron que ambos dejaran de ser autónomos, al grado de que la bacteria, después de varios millones de años, no sólo no puede vivir sin su hospedero, sino que se convirtió en un organelo de las células de todos

los organismos multicelulares que existen hoy día: la mitocondria. Estas relaciones "de mutua ayuda" se antojan algo románticas, pues en principio ambas partes viven felices por los siglos de los siglos; pero, en realidad, es frecuente encontrar mutualismos con una gama de efectos en las especies que van desde negativos y neutros, hasta extremadamente positivos. Por ejemplo, la polinización, considerada como un mutualismo clásico, puede ser un antagonismo en situaciones en donde el polinizador, más que favorecer a las plantas, las perjudica. Esto llega a ocurrir, por ejemplo, con la polilla *Greya politella*, que poliniza las flores de la planta *Lithophragma parviflorum* mientras pone sus huevos en las mismas. Al desarrollarse dentro de los ovarios, las larvas de la polilla se alimentan de las semillas, lo que representa un costo para la planta. Sin embargo, si la polilla es el único polinizador, a la planta no le queda más remedio que pagar dicho costo con tal de que al menos una fracción de sus óvulos sea fecundada, esto es, a pesar de consumir cierta fracción de las semillas de la planta, la polilla es considerada como mutualista de la planta pues sin ella no podría lograr reproducirse. Sin embargo, hace unos años los ecólogos estadounidenses John Thompson y Bradley Cunningham estudiaron varias poblaciones de *Lithophragma parviflorum* y describieron cómo en poblaciones en que existen otros polinizadores como abejas y abejorros, que no consumen las semillas, la polilla *Greya politella*, más que un polinizador, actúa como un verdadero depredador de semillas, de manera que a las plantas les va mejor sin la visita de la polilla. De hecho, en estas poblaciones las plantas han desarrollado la capacidad de abortar selectivamente las cápsulas que contienen larvas de la polilla, lo que demuestra que en tal circunstancia se



trata en realidad de un depredador más que de un polinizador.

Las interacciones mutualistas también abren la posibilidad de que haya trampas entre los organismos involucrados y que uno de ellos obtenga los beneficios de la interacción sin necesariamente tener que pagar todos los costos. En el caso de las plantas, por ejemplo, tales costos están relacionados con la producción de néctar en las flores o frutos con pulpa dulce. Un caso extremo de esos "mutualismos tramposos" son las orquídeas que atraen a sus polinizadores por medio de un engaño: producen flores que de

trata en realidad de un depredador más que de un polinizador.

Las interacciones mutualistas también abren la posibilidad de que haya trampas entre los organismos involucrados y que uno de ellos obtenga los beneficios de la interacción sin necesariamente tener que pagar todos los costos. En el caso de las plantas, por ejemplo, tales costos están relacionados con la producción de néctar en las flores o frutos con pulpa dulce. Un caso extremo de esos "mutualismos tramposos" son las orquídeas que atraen a sus polinizadores por medio de un engaño: producen flores que de

lejos parecen las hembras de las abejas que las polinizan. Las abejas macho se acercan a cortejar a “la hembra” e intentan inútilmente copular con las flores. Al final del “cortejo”, las avispa dejan la flor sin llevarse ningún tipo de recompensa porque la planta no produce néctar, pero sí un par de paquetes de polen o polinia que dejarán en la siguiente flor que lleguen a “cortejar”. Por otra parte, hay interacciones que representan el otro lado de la historia. Los biólogos estadounidenses D. Inouye y J. Maloof describieron cómo, sin polinizarlas, algunos abejorros obtienen las recompensas de las flores —el néctar, por ejemplo— haciendo orificios en el tubo de la flor, por lo que nunca entran en contacto con las partes reproductivas de la planta y ésta no obtiene ningún beneficio de la interacción.

Finalmente, hay relaciones que se caracterizan por el hecho de que, mientras para una especie la interacción no tiene ningún tipo de efecto, para la otra sí existe un efecto negativo; es el caso del amensalismo, que puede ser positivo —se trata entonces de un comensalismo. Un ejemplo de amensalismo es cuando las cabras pisotean la vegetación de una pradera, mientras que el comensalismo clásico está conformado por las rémoras que se alimentan de los parásitos en la piel de los tiburones. A pesar de que estas relaciones son aparentemente inocuas para uno de los participantes (en los ejemplos, las cabras y los tiburones), podemos plantear situaciones más “grises” en las que dichas interacciones en realidad sí tienen efectos significativos para ambas especies. En el caso del pisoteo de las cabras, éstas pueden promover que se reduzca la cantidad de plantas que representan su alimento. En el caso de las rémoras, que van pegadas a la piel de los tiburones, ellas pueden acabar irritando la piel de sus hospederos o entorpeciendo su diseño hidrodinámico.

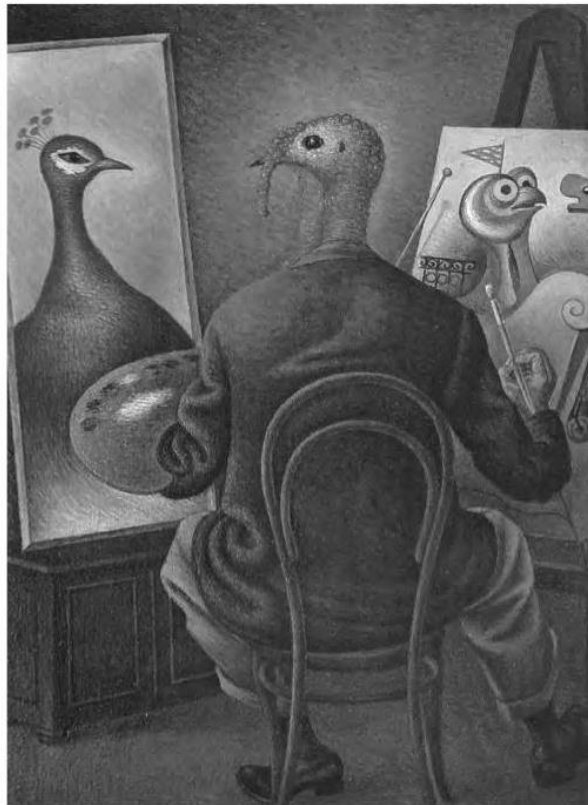
### Agentes no tan secretos de la selección natural

Cuando los efectos positivos o negativos de las interacciones bióticas se ven reflejados en la supervivencia, crecimiento y reproducción de los individuos, es probable que estas relaciones afecten el crecimiento de una población y la abundancia o distribución de una especie. Lo que es muy frecuente es que muchas interacciones tengan efectos a escala evolutiva. Un ejemplo de cómo las interacciones pueden promover la evolución, es lo que sucede con muchas variedades de bacterias y parásitos que nos ocasionan enfermedades y que nos afectan cotidianamente. En años recientes se ha detectado que muchos de esos parásitos y bacterias han desarrollado resistencia a los antibióticos. Esto se debe a que aquellos individuos que presentan cualquier tipo de resistencia a tales compuestos sobreviven más y, por

lo tanto, tienen mayores probabilidades de reproducirse rápidamente en comparación con individuos que no son resistentes. En este caso, podemos decir que la evolución de la resistencia ha ocurrido como producto de la selección natural. Ejemplos similares ocurren con las defensas que producen las plantas en contra de los herbívoros que, por mecanismos de selección natural, pueden presentar evolución en las contradefensas, lo que les permite seguir consumiendo dichas plantas.

En vista de que en muchas situaciones tales relaciones son importantes agentes de selección, a los biólogos nos interesa considerar las interacciones bióticas para entender la evolución de las especies. Desde el punto de

vista evolutivo hoy sabemos que las interacciones son fuente de selección natural que promueven la evolución de múltiples soluciones adaptativas y, por lo tanto, una de las causas relevantes que han contribuido a la existencia de la gran diversidad de especies que hay en el planeta hoy día.



### Piezas fundamentales de los ecosistemas

Las interacciones bióticas son de tal importancia para el funcionamiento de los ecosistemas, que podríamos pensar en ellas como una serie de complejos engranajes que mantienen el tictac de un reloj. Los ciclos de nutrimentos y el agua, el flujo de energía a través de cadenas tróficas, la descomposición de la materia orgánica, y hasta la regulación del clima pueden estar influenciados por las interacciones bióticas.

Por ejemplo, una planta de frijol depende de la interacción indirecta con las bacterias que forman nódulos en sus raíces para poder obtener el nitrógeno que necesita para llevar a cabo la fotosíntesis. A su vez, la materia y la energía asimiladas por las plantas son concentradas en carbohidratos, que posteriormente serán consumidos por los herbívoros, quienes son a su vez alimento de los carnívoros. Es así como la energía que empezó con los rayos de sol que llegan a la superficie de la hoja del frijol continúa su trayectoria a través de la cadena alimentaria, hasta llegar a ser, otra vez, materia orgánica que es consumida por las lombrices e insectos del suelo, para luego ser procesada por los microorganismos que la transforman en minerales y nutrimentos disponibles nuevamente para las plantas. Este ciclo energético, definido por la presencia de tantas interacciones, repercute directamente en la productividad de un ecosistema y sus ciclos de agua, nutrimentos y carbono.

Al entender que las interacciones tienen importantes implicaciones ecológicas y evolutivas, es fácil imaginar que cuando una especie es eliminada de un ecosistema o se extingue naturalmente, las consecuencias van más allá de su propia existencia. La desaparición de una especie posiblemente implique una afectación negativa sobre las especies con las que tenía interacciones positivas (por ejemplo sus

polinizadores, sus dispersores, etcétera), mientras que las especies con las que tenía interacciones negativas, como sus competidores o sus presas, pueden aumentar sus poblaciones. En algunas ocasiones la desaparición de una especie produce una extinción en masa debido a la cantidad de interacciones que tenía esa especie con las demás en un ecosistema.


A este tipo de especies tan importantes y vinculadas con muchas otras se les conoce como “especies clave”. Por ejemplo, Robert Paine encontró que en los arrecifes de Australia en donde se sobreexplotó las estrellas de mar, aumentó la abundancia de las que eran sus presas: los erizos y varios tipos de almejas. A su vez, el incremento en las poblaciones de los erizos y las almejas, que son herbívoros, desencadenó una presión muy fuerte sobre las algas que éstos consumían, y acabaron por extinguirlas localmente. Al extinguirse las algas, desaparecieron las almejas y los erizos y, al final, todo el ecosistema colapsó. En este caso, las estrellas de mar son la especie clave, y su desaparición significó una grave perturbación en todo el ecosistema.

La otra cara de la moneda es el efecto de la introducción de una especie nueva en un ecosistema. Cuando una especie se establece fuera de su área de distribución natural, ésta interactúa con muchas de las especies nativas, y cuando es competitivamente superior a las demás, también puede ocasionar un colapso o una afectación severa a la diversidad de un ecosistema. Por ejemplo, algunas especies invasoras pueden desplazar a las nativas, como ocurre en los ríos del norte de México, en donde el pino salado (*Tamarix ramossissima*), originario de Asia, desplazó a todas las especies de plantas nativas porque es muy eficiente para encontrar agua del subsuelo y, al crecer rápido, produce una sombra muy fuerte que impide a las demás especies germinar y desarrollarse, modificando completamente el ecosistema original.

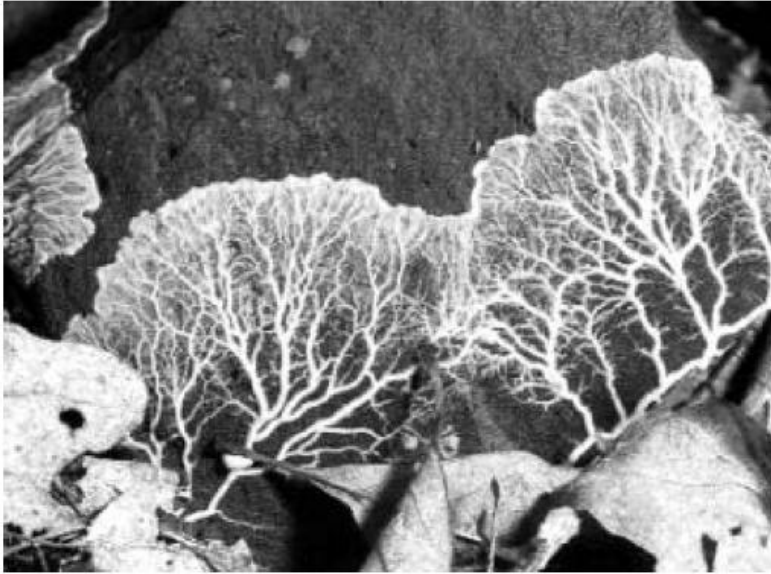
### Tú y las interacciones bióticas

Las interacciones también afectan directamente la existencia y supervivencia de las sociedades humanas, pues muchas de las relaciones entre especies están vinculadas con servicios que los ecosistemas proveen a los humanos. Algunos servicios ecosistémicos de los que dependemos y que se hallan relacionados con las interacciones bióticas son: la polinización de cultivos, el control biológico de plagas y enfermedades, las simbiosis entre plantas y hongos que permiten el buen desempeño de los cultivos, y la formación de suelo por medio de la descomposición de la materia orgánica. Otras interacciones tienen que ver con muchas de las enfermedades que alteran nuestra calidad de

vida, y son causantes de millones de muertes. Por ejemplo, los mosquitos son hospederos de comensalistas, como la bacteria que ocasiona el cólera y el plasmodio que provoca el paludismo.

De manera similar, las ratas conviven con el virus que transmite la peste en el humano, pero no manifiestan síntomas de la enfermedad. Entender la relación que tienen estos parásitos con otras especies es fundamental, pues frecuentemente los vectores que nos transmiten las enfermedades son otras especies con las cuales los parásitos mantienen relaciones comensalistas. Es por todo ello que el estudio de las interacciones es un campo de vital importancia para comprender el pasado y el devenir del planeta. 

## Los líquenes



BEATRIZ COUTIÑO

ANA LUISA MONTAÑEZ

El término líquen proviene del griego λειχην y significa musgo de árbol. Uno de los rasgos distintivos y más interesantes de los líquenes es que son organismos formados de la asociación simbiótica de un hongo con un organismo fotobióntico (capaz de hacer fotosíntesis), ya sea un alga, una cianobacteria o ambas. El hongo liquenizado se comporta como un solo organismo en el que cada una de las partes depende de la otra, dando como resultado un ser vivo sorprendente por su naturaleza dual.

Esta dualidad se ha visto reflejada en su clasificación. En el *Reino vegetal* de Linneo aparecen bajo el grupo de las algas. Y no es hasta 1824 que Erick Acharius, en su *Synopsis Methodica Lichenum*, establece una terminología específica para este grupo. A partir de entonces comenzaron a aparecer varios estudios regionales y taxonómicos. Con el trabajo de Asahina en 1936 la investigación liquenológica dio un giro, pues se incorporó como parámetro de clasificación la presencia de ciertos ácidos detec-

tados por medio de pruebas microquímicas.

En la actualidad se han identificado más de diecisiete mil especies de líquenes que muestran una distribución cosmopolita y se les encuentra en regiones desérticas, en los trópicos, bosques, zonas polares e incluso en el mar. Además de la asombrosa adaptación a los distintos climas y hábitats, pareciera que pueden crecer sobre casi cualquier sustrato; así, hay líquenes cortícolas, que se desarrollan sobre las cortezas de los árboles

de modo que se les considera epífitas, y otros que se desarrollan sobre troncos caídos; los saxícolas o rupícolas se encuentran sobre rocas; los terrícolas, cuyo sustrato es el suelo y, finalmente, los zoo-bióticos, que crecen sobre tejido muerto de animales, como las conchas de las tortugas o el exoesqueleto de los insectos.

Los líquenes se organizan en estructuras complejas llamadas talos, que generalmente consisten de varias capas. Éstas se dividen en una corteza superior y otra inferior, una capa algal y una capa medular. La mayor parte de la estructura está compuesta por el hongo y sus hifas, mientras que las células algales y las cianobacterias constituyen una proporción menor (alrededor de 7%). Es por esto que al hongo se le llama macrobionte y a las algas y bacterias se les denomina microbiontes. Hasta ahora se han identificado más de treinta y seis especies de organismos fotosintéticos (cianobacterias y algas verdes) que forman parte de los líquenes. Los talos se clasifican con base en su aspecto, su estratificación y las estructuras de fijación al sustrato; así, los biólogos distinguen entre talos gelatinosos, costrosos, foliosos y fruticosos.

La reproducción de los líquenes se lleva a cabo principalmente por medio de la propagación asexual a través

<sup>5</sup> Coutiño, B. y Montañez, A. L. (2000). Los líquenes. *Ciencias*, 59, 64-65. Recuperado en Julio, 2019 de: <http://www.ejournal.unam.mx/cns/no59/CNS05911.pdf>

de la fragmentación del talo o la formación de diásporas vegetativas: los soledios y los isidios. Los primeros resultan de la asociación de algunas células fotobiónicas fuertemente envueltas por hifas y carentes de corteza; miden de 25 a 100  $\mu$  de diámetro, pero en general se encuentran varios soledios agrupados en masas más grandes de apariencia granular submacroscópica llamadas soralias. Los isidios son otro tipo de estructuras reproductivas que se originan en las capas internas del talo y que emergen a través de poros o por rupturas en la corteza. Se trata de extensiones cilíndricas del talo que se observan como protuberancias de la corteza superior, conformadas por hifas del hongo y células fotobiónicas asociadas de manera más o menos continua. Una vez maduras, las diásporas se dispersan por medio del agua, viento, insectos y aves, y posteriormente se desarrollan en otros sitios. Aunque la mayoría de los líquenes se reproducen por medio de estas estructuras asexuales, hay líquenes que presentan una reproducción sexual. A éstos se les ha agrupado como los basidio líquenes. La mayoría de ellos están formados por

hongos de la división *Ascomycotina*, que producen cuerpos fructíferos casi idénticos a los que producen estos hongos cuando no están liquenizados.

Aunque en apariencia los líquenes parecen inertes, estos organismos simbióticos tienen importantes funciones en los ecosistemas. Una de las principales es la de la degradación superficial de las rocas y la formación de suelos. Los líquenes tienen la capacidad de establecerse como pioneros durante la colonización de sitios rocosos carentes de vegetación y con el tiempo preparan el sustrato para el desarrollo sucesivo de distintas plantas. A su vez, muchos de los líquenes que tienen cianobacterias fijan el nitrógeno atmosférico elemental, enriqueciendo los suelos, principalmente en las regiones boreales y en bosques templados. En las tundras, los líquenes sostienen en gran parte la vida animal, ya que en estas regiones los animales se alimentan principalmente de ciertos ejemplares que cubren grandes extensiones de suelo. En otras regiones constituyen un albergue eficaz y fuente de alimento de gusanos, insectos, arácnidos, ácaros y moluscos.

En varios países nórdicos los líquenes son empleados como forraje para los animales domésticos, ya que las especies que ahí crecen contienen un polisacárido parecido al almidón, la liquenina, que incluso sirve para la elaboración de pan.

Otras especies tienen diversas aplicaciones desde el punto de vista industrial y se les emplea, por ejemplo, en la industria de la perfumería como fijadores de las esencias aromáticas. En medicina se utilizan algunas sustancias de origen liquénico que inhiben el crecimiento de bacterias y hongos. Tal es el caso del ácido úsnico (presente en los géneros *Usnea*, *Ramalina*, *Cladonia*, *Parmelia* y *Evernia*), que se utiliza en la elaboración de pomadas ha mostrado ser más efectivo que los ungüentos antibióticos convencionales para el tratamiento de lesiones provocadas por quemaduras.

Una de las aplicaciones recientes de los líquenes es el de indicadores y monitores de ciertos contaminantes (urbanos o industriales). Estudios realizados en los años sesenta sobre la distribución de estos organismos mostraron que algunos líquenes presentaban una alta

susceptibilidad a ciertos contaminantes atmosféricos. Distintas concentraciones de estos contaminantes tienen diversos efectos sobre el desarrollo de los líquenes, es decir, lo inhiben y reducen su crecimiento o imposibilitan su vida. Por otro lado, algunas especies muestran tolerancia a sustancias que estorban el crecimiento de otro tipo de organismos, lo que les permite colonizar, por ejemplo, espacios contaminados por plomo y monóxido de azufre. También se ha demostrado que algunas especies de líquenes pueden servir como indicadores del nivel de metales radiactivos.

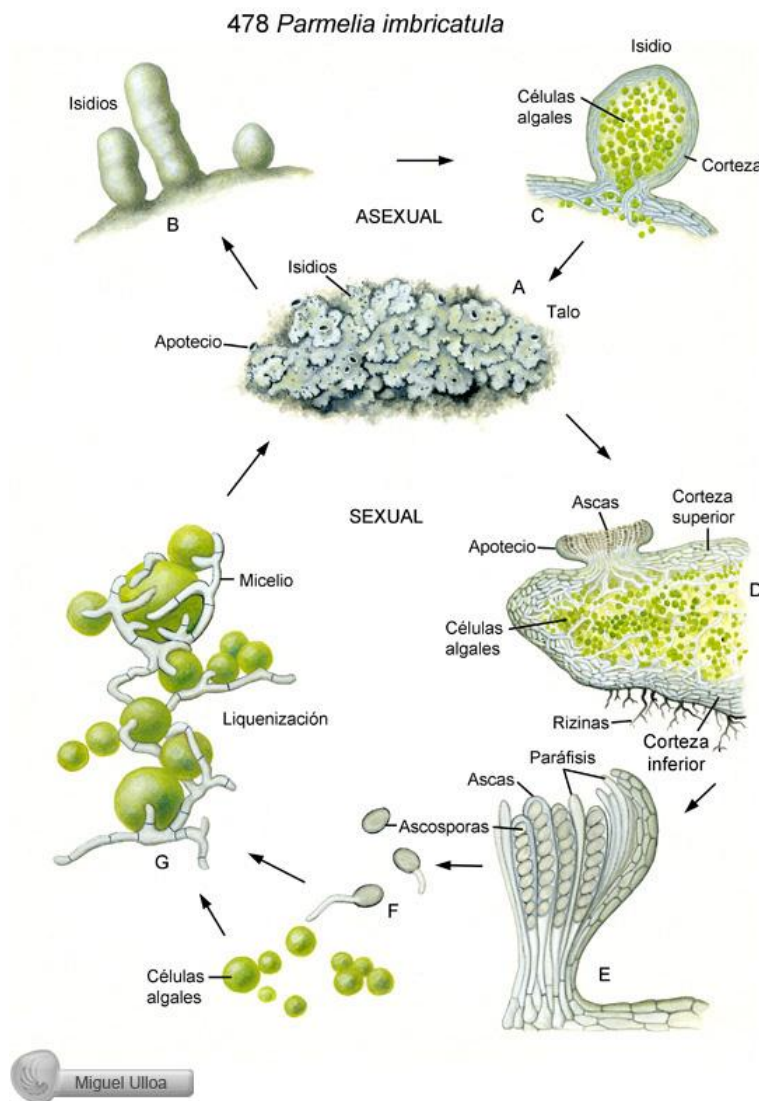
Desde la década pasada, dadas las tendencias relacionadas con la conservación de la biodiversidad y el uso sustentable de los recursos naturales, se advierte un interés creciente por realizar más estudios sobre los líquenes.

Sin embargo, en México es aún necesario incrementar la investigación en este campo, pues faltan muchos datos florísticos ya que los herbarios tienen acervos aún muy incompletos. ~~✎~~



**Anexo 6.** Ejemplo: Liquen foliáceo *Parmelia imbricatula*.<sup>6</sup>

Descripción: A. Talo maduro de este liquen folioso, corticícola. B-C. Reproducción asexual o vegetativa por medio de isidios haploides, los cuales son progámulos columnares, corticados, constituidos por hifas del hongo y células algales; los isidios desprendidos del talo liquénico son diseminados a otros lugares donde se desarrollan en nuevos talos liquénicos. D-G. En el talo también se realiza una reproducción sexual para formar apotecios cupuliformes con ascas y ascosporas, siguiendo el proceso usual de ascosporogénesis. Las ascosporas haploides liberadas germinan y el micelio desarrollado se combina con las células algales en el sustrato para sintetizar un nuevo talo liquénico (liquenización); en este caso las células algales corresponden a la especie *Cystococcus parmeliae*. En D se ilustra un corte longitudinal que muestra la anatomía interna de este liquen heterómero cloroficófilo.



<sup>6</sup> Herrera, T. y Ulloa, M. (1990). *Parmelia imbricatula*. Acuarela a color. Acervo Histórico de la Biblioteca del Instituto de Biología, UNAM. En Herrera, T. y Ulloa, M. El reino de los hongos: micología básica y aplicada. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México, D. F., p.353. Recuperado en Julio, 2019 de: <http://unibio.unam.mx/irekani/handle/123456789/32022?mode=full&proyecto=Irekani>

Anexo 7. Presentación: Características generales de las relaciones inter e intraespecíficas.<sup>7</sup>

### Especie A

		<b>+</b>	<b>-</b>	<b>0</b>
<b>Especie B</b>	<b>+</b>	<b>++ mutualismo</b>	<b>+ - depredación</b>	<b>+0 comensalismo</b>
	<b>-</b>	<b>- + depredación</b>	<b>-- competencia</b>	<b>-0 amensalismo</b>
	<b>0</b>	<b>0+ comensalismo</b>	<b>0- amensalismo</b>	<b>00 neutralismo</b>

## BALANCE BENEFICIO - COSTO

Neutralismo = 0

Amensalismo = -

Comensalismo = +

Competencia = -

Depredación = +/-

Mutualismo = +

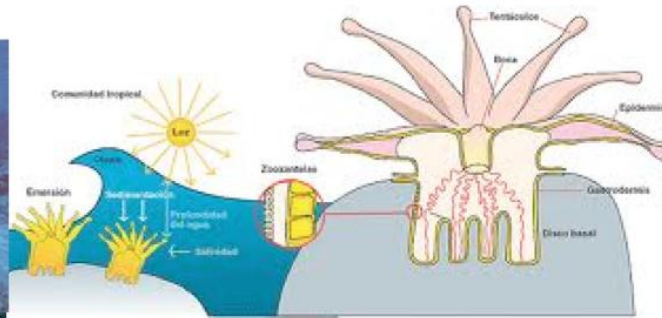
### *Resultado evolutivo de la asociación*

<sup>7</sup> Presentación. Factores bióticos. Laboratorio de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 100. Recuperado en Julio, 2019 de:

[http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB\\_ECOLOGIA/Ecologia\\_y\\_evolucion\\_files/IV%20factores%20bioticos.pdf](http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB_ECOLOGIA/Ecologia_y_evolucion_files/IV%20factores%20bioticos.pdf)

# Simbiosis = interacción

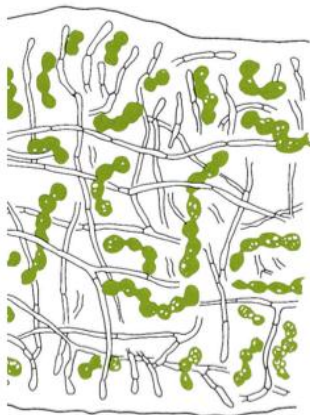
## Simbiosis = asociación estrecha



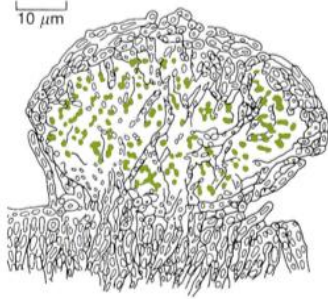
Relación pólipo-alga



## Mutualismo simbiótico



10  $\mu\text{m}$



0.1 mm

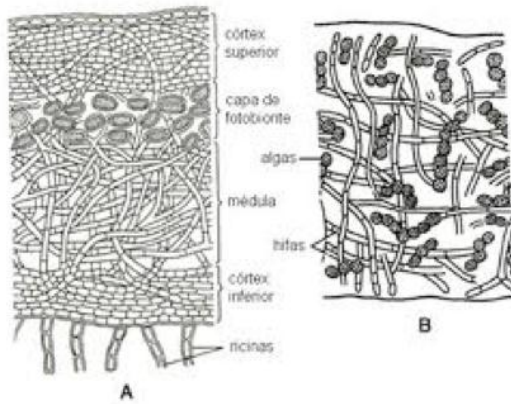
(b)



10  $\mu\text{m}$



Líquen= hongo + alga



A

B



-simbiótico



## ESTRATEGIA DIDÁCTICA 12

Niveles tróficos y flujo de energía. *El papel de las algas en los niveles tróficos.*



### I. DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología II
SEMESTRE ESCOLAR	Cuarto Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

### II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 2. ¿Cómo interactúan los sistemas biológicos con su ambiente y su relación con la conservación de la biodiversidad?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo:</b> Al finalizar, el alumno: Describirá la estructura y funcionamiento del ecosistema, a partir de las interacciones que se presentan entre sus componentes, para que reflexione sobre el efecto que el desarrollo humano ha causado en la biodiversidad y las alternativas del manejo sustentable en la conservación biológica.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos:</b> Describe el flujo de energía y ciclos de la materia (carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y agua) como procesos básicos en el funcionamiento del ecosistema. <b>Aprendizajes operativos:</b> 1. Reconoce los niveles tróficos que se presentan en los ecosistemas. 2. Describe el paso de flujo de energía a través de los niveles tróficos. 3. Distingue características de las algas en tanto a flujo de energía y ciclos biogeoquímicos en los ríos.
TEMA(S)	Tema 1. Estructura y procesos en el ecosistema <ul style="list-style-type: none"><li>Niveles tróficos y flujo de energía</li></ul>

### III. ESTRATEGIA

Con las actividades de esta estrategia (investigación, traslape de redes ecosistémicas, actividad de laboratorio y ejercicios de aprendizaje) los estudiantes podrán reconocer el flujo de energía de los ecosistemas a través de los niveles tróficos y los ciclos biogeoquímicos. Además, podrán reconocer dichas características en la ecología de las algas en los ríos.

#### IV. SECUENCIA

TIEMPO DIDÁCTICO	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
DESARROLLO Y ACTIVIDADES	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)</p> <p>Los estudiantes investigan sobre 1. Flujo de energía en los ecosistemas, 2. Cadenas y redes tróficas y 3. Ciclos biogeoquímicos, dicha información será organizada en un cuadro de tres columnas en su cuaderno y se recomienda que sea acompañada con imágenes alusivas.</p> <p>De apertura (1 hora)</p> <p>En clase comparten su investigación al participar en la elaboración de una tabla grupal, similar a la que desarrollaron previamente. El profesor guía las participaciones y resalta aspectos del tema. Al finalizar proporciona a los estudiantes los textos: anexo 1. Lectura: Cadenas y redes tróficas, y anexo 2. Lectura: Flujo de energía y ciclos biogeoquímicos. Para que puedan revisarlos y trabajar en la siguiente actividad con ellos.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Los estudiantes se organizan en seis equipos, cada equipo trabaja sobre un acetato proporcionado por el profesor, el cuál deberá tener impresa la imagen de un ecosistema (la misma imagen para todos los equipos). Sobre el acetato deberán representar con líneas conectoras un ciclo biogeoquímico, o una red trófica, según designe el profesor. Una vez terminados los esquemas, serán visualizados con el proyector de acetatos y explicados por alguno de los integrantes de cada equipo. Así mismo, se hará el análisis del traslape de los acetatos enfatizando la complejidad de las relaciones ecosistémicas.</p> <p>(1 hora)</p> <p>De acuerdo al anexo 3. Artículo: La importancia ecológica de las algas en los ríos, reconocerán los ciclos biogeoquímicos, el flujo de energía y las redes tróficas de las algas en los ríos. Organizarán dicha información en un cuadro similar a la trabajada en la actividad de apertura, la cual contará con tres columnas, cada una destinada a los aspectos mencionados. Al finalizar, se compartirán los hallazgos por medio de participaciones mediadas por el</p>

	<p>profesor, quien además deberá guiar y resaltar aspectos que crea necesarios. (1 hora)</p> <p>Como parte del reconocimiento del ciclo de nitrógeno y su relación con las algas, de acuerdo al anexo 4, se llevará a cabo la Actividad de laboratorio: <i>Observación de heterocistes</i>. Es importante que al iniciar esta sesión el profesor rescate algunos aspectos de los heterocistes, por lo cual se recomienda proyectar el anexo, presentación: Heterocistes como estructuras fijadoras de nitrógeno.</p> <p><b>Actividades de cierre:</b> (1 hora)</p> <p>Para finalizar el tema se propone el anexo 5. Ejercicio: Actividad de aprendizaje. Lo cual también es una oportunidad para reflexionar e integrar los conocimientos vistos.</p>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b>	<p>Recursos bibliográficos o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Aula-laboratorio de trabajo. Computadora y proyector digital. Acetatos, proyector de acetatos y marcadores de acetato. Pizarrón y gises de colores o pintarrón y marcadores.</p> <p>Anexo 1. Lectura: Cadenas y redes tróficas.</p> <p>Anexo 2. Lectura: Flujo de energía y ciclos biogeoquímicos.</p> <p>Anexo 3. Artículo: La importancia ecológica de las algas en los ríos.</p> <p>Anexo 4. Actividad de laboratorio: Observación de heterocistes.</p> <p>Anexo 5. Ejercicio: Actividad de aprendizaje.</p>
<b>EVALUACIÓN</b>	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se juntaran puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b></p> <p>Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto</p> <p>Actividad de inicio (apertura): tabla grupal.....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b></p> <p>Primera actividad de desarrollo: traslape de acetatos en equipo.....2 puntos</p> <p>Segunda actividad de desarrollo: tabla sobre algas individual.....3 puntos</p> <p>Tercera actividad de desarrollo: actividad de laboratorio en equipo.....2 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b></p>

	Actividad de cierre: ejercicios individuales.....1 punto La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.
--	---

## V. REFERENCIAS DE APOYO

<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.</b>	Jiménez, L. P. (Coord.) (2011). <i>Biología</i> . Enciclopedia de Conocimientos fundamentales. Universidad Nacional Autónoma de México. Siglo XXI. Vol. 4. p. 347-350 y p. 361-371.
<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR</b>	<p>Bojorge-García, M. G. y Cantoral U. E. A. (2016). La importancia ecológica de las algas en los ríos. <i>Hidrobiológica</i>, 26(1), 1-8. Recuperado en julio, 2019 de: <a href="http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0188-88972016000100002&amp;lng=es&amp;nrm=iso">http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0188-88972016000100002&amp;lng=es&amp;nrm=iso</a></p> <p>Dreckmann, K. M., Senties, A. y Nuñez, M. L. (2013). <i>Manual de prácticas de laboratorio</i>. Biología de Algas. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa: México. p. 24-25.</p> <p>Introducción a la Botánica. (2017). Algas 01. Introducción y generalidades Cyanobacteria. Acheoplastidia. Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires. Recuperado en julio, 2019 de: <a href="http://www.dbbe.fcen.uba.ar/contenido/objetos/Teoricaalgasbota769nica201901Introyanocloro.pdf">http://www.dbbe.fcen.uba.ar/contenido/objetos/Teoricaalgasbota769nica201901Introyanocloro.pdf</a></p> <p>Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. <i>Revista UDO Agrícola</i>, 4(1), 1-20. Recuperado en Marzo, 2020 de: <a href="http://intranet.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fijacion%20biologica%20del%20nitrogeno.pdf">http://intranet.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fijacion%20biologica%20del%20nitrogeno.pdf</a></p> <p>Zepeda G. C. (2015). Algas y Briofitas. Algas verde azules. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de ciencias. México. Presentación PPT. Recuperado en julio, 2019 de: <a href="http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/32132/secme-18510.pdf?sequence=1">http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/32132/secme-18510.pdf?sequence=1</a></p>
<b>COMENTARIOS ADICIONALES</b>	Es responsabilidad del docente conocer la bibliografía recomendada para los estudiantes.

## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Lectura: Cadenas y redes tróficas.

**Anexo 2.** Lectura: Flujo de energía y ciclos biogeoquímicos.

**Anexo 3.** Artículo: La importancia ecológica de las algas en los ríos.

**Anexo 4.** Actividad de laboratorio: Observación de heterocistes.

**Anexo 5.** Presentación: Heterocistes como estructuras fijadoras de nitrógeno.

**Anexo 6.** Ejercicio: Actividad de aprendizaje.



## **Cadenas y redes tróficas**<sup>1</sup>

Jiménez (2011)

Los organismos que integran las comunidades naturales se encuentran estrechamente entrelazados, principalmente a través de relaciones de tipo alimentario. Sin embargo, el gran número de especies participantes en ellas dificulta su estudio, por lo que los ecólogos recurren a la sistematización y simplificación de tales relaciones para desentrañar el papel que juegan en las comunidades.

De acuerdo con sus hábitos alimentarios, las especies pueden clasificarse en grupos o niveles. El primer nivel trófico lo forman los organismos autótrofos denominados productores, que son capaces de sintetizar moléculas orgánicas a partir de sustancias inorgánicas. En este grupo están incluidas las bacterias quimioautótrofas que habitan en las fosas hidrotermales, y cuya única fuente de energía es la proveniente de compuestos como el ácido sulfhídrico emanado del interior de la Tierra. Por otro lado, están los fotosintetizadores como las plantas, las cianobacterias, las algas macroscópicas y el fitoplancton (diminutas algas microscópicas que flotan en la superficie de lagos y mares), que utilizan luz solar para la síntesis de carbohidratos y otras moléculas. Este tipo de organismos son la base de todas las relaciones alimentarias que existen en las comunidades, ya que de ellos dependen las demás especies.

El resto de los seres vivos que se hallan en las comunidades son consumidores, es decir, organismos heterótrofos, que para poder vivir necesitan alimentarse de otros organismos, de los productos que elaboran —secreciones, pelo, excremento— o de sus cadáveres. Dentro de este gran grupo están los animales, los hongos, así como muchas bacterias y protistas no fotosintetizadores.

El segundo nivel está constituido por los organismos herbívoros que se alimentan de los productores y a los cuales se los llama *consumidores primarios*. A ellos pertenece el zooplancton (comunidad acuática conformada por principalmente por pequeños crustáceos y larvas de invertebrados), los insectos fitófagos, los moluscos (como los caracoles de jardín) y los vertebrados (conejos, cebras, ratones; aves como las guacamayas, loros y tucanes; algunos reptiles, etcétera).

El tercer nivel trófico está formado por los consumidores secundarios, que son animales carnívoros que se alimentan de herbívoros. Entre ellos están las aves que comen insectos y ratones; los zorros, serpientes, pumas y jaguares; algunos peces, etcétera.

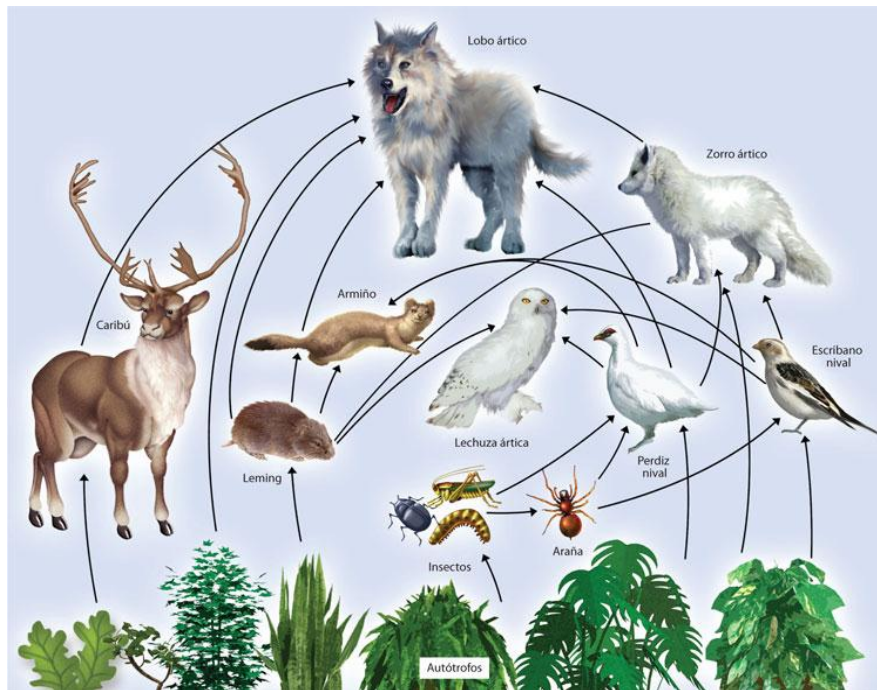
Dependiendo de la comunidad de que se trate, puede existir un cuarto nivel trófico integrado por los consumidores terciarios, que son organismos que se alimentan de depredadores, por ejemplo, las águilas, búhos, tiburones y delfines. En algunos casos hay especies como las orcas y los grandes tiburones blancos que pueden ocupar un quinto nivel trófico. Debe tenerse en cuenta que algunas especies son omnívoras, es decir, tienen dietas variadas, por lo que pueden estar ubicadas en más de un nivel dependiendo de qué organismos se alimentan.

El número de niveles tróficos es variable de una comunidad a otra; sin embargo, en las comunidades marinas es donde se encuentra el mayor número de ellos, ya que los productores son organismos microscópicos, al igual que los consumidores primarios que son consumidos fácilmente por peces; éstos, a su vez, son alimento

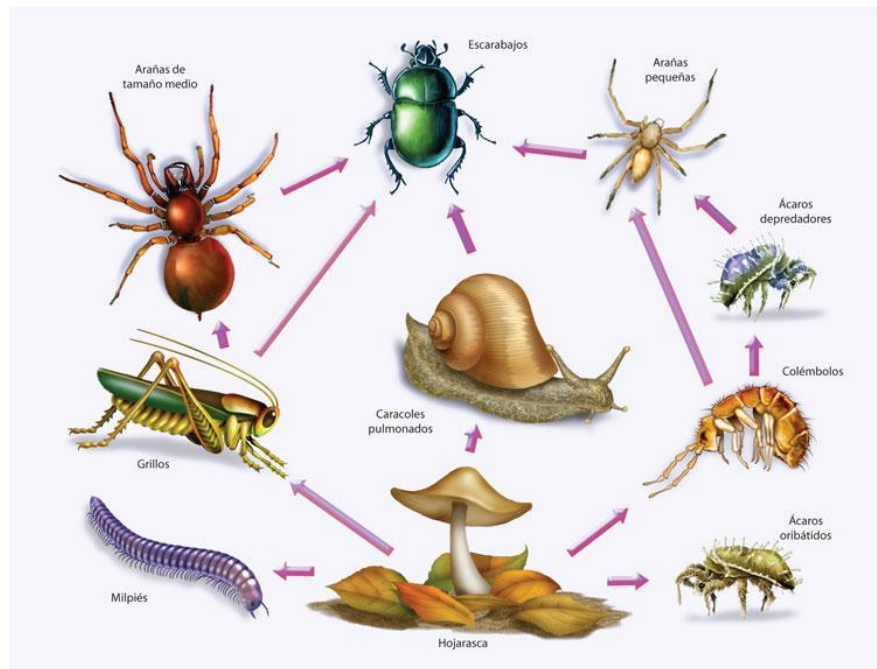
---

<sup>1</sup> Jiménez, L. P. (Coord.) (2011). *Biología*. Enciclopedia de Conocimientos fundamentales. Universidad Nacional Autónoma de México. Siglo XXI. Vol. 4. p. 347-350.

de peces más grandes, los que finalmente son consumidos por los grandes depredadores, como delfines y tiburones.



*Ejemplo de red trófica de los herbívoros. © Raúl Cruz.*



*Ejemplo de red trófica de los detritívoros descomponedores. © Raúl Cruz.*

No obstante, aun en estos ambientes, hay un límite en cuanto al número de niveles tróficos que pueden existir, debido a la menor disponibilidad de energía que hay entre un nivel trófico y el siguiente. La eficiencia en la transferencia de energía no es mayor del 25% (y en ocasiones puede ser tan pequeña como el 1%), ya que los consumidores generalmente no se alimentan de todos los tejidos de su presa; además, tanto los productores

como los consumidores utilizan la energía para procesos vitales como la síntesis de moléculas biológicas, la formación de tejidos nuevos, la reproducción y una parte importante se pierde en forma de calor. Otras causas que limitan el número de niveles tróficos tienen que ver con el tamaño corporal, pues en muchos casos los depredadores son más grandes que sus presas. Sin embargo, pensar en un "superdepredador" de gran tamaño resulta difícil debido a que existen factores que limitan el tamaño corporal, como es el sostener un gran peso en contra de la fuerza de gravedad en los ambientes terrestres.

Finalmente, existe un grupo heterogéneo de organismos que tiene una función clave en el mantenimiento de las comunidades: los saprófagos, integrados por los organismos detritívoros (comedores de detritos) y los descomponedores. Los primeros son animales como lombrices de tierra, cochinillas, escarabajos peloterros, buitres, que se alimentan de tejidos animales y vegetales muertos, digiriendo internamente la materia orgánica. Los descomponedores, en cambio, degradan la materia orgánica mediante la liberación de enzimas al medio circundante. A este grupo pertenece un gran número de bacterias y los hongos.

El papel que tienen estos organismos en las comunidades es fundamental, pues utilizan gran parte de la energía que queda almacenada en la materia muerta. Muchos de ellos son capaces de degradar materiales como la queratina de uñas, pelo y cornamentas, la quitina de los exoesqueletos de insectos, así como la celulosa y lignina de las paredes celulares de las plantas. Por lo tanto, son los encargados de llevar a cabo el reciclaje de los compuestos contenidos en la materia muerta y de incorporarlos al ambiente para que nuevamente los utilicen los productores. La complejidad de las relaciones de tipo alimentario en las comunidades puede representarse por medio de las cadenas tróficas, que son diagramas lineales que exhiben los vínculos alimentarios existentes entre las especies en una comunidad y en las que se muestra cómo unos organismos consumen a otros.

En la naturaleza no existen relaciones lineales de alimentación, ya que muchas de las especies de consumidores tienen dietas variadas. En su lugar se observan interconexiones múltiples entre cadenas sencillas. A éstas se las denomina redes tróficas o alimentarias.

Al tomar en cuenta la naturaleza de los organismos participantes, se distinguen dos tipos de redes alimentarias: las de los herbívoros y las de los detritívoros-descomponedores. La diferencia entre ambos radica en la fuente de energía utilizada por los consumidores primarios, ya que en el primer caso, los herbívoros obtienen su energía a partir de los autótrofos como las plantas, mientras en el segundo los consumidores primarios como milpiés, grillos, colémbolos o lombrices de tierra, la obtienen a partir de la materia muerta. A su vez, tanto los herbívoros como los detritívoros son la fuente de energía para los carnívoros, que en el segundo caso pueden ser arañas o escarabajos. Estos últimos son consumidos por pájaros y pequeños mamíferos, y de esta manera, a través de la depredación, se interconectan ambos tipos de redes alimentarias.

La participación de las redes tróficas de los detritívoros para la transferencia de energía en las comunidades es muy importante. En las redes de los herbívoros sólo entra una pequeña porción de la energía fijada por los productores (el 2.6% en un estudio que se hizo con una duración de tres años en un bosque caducifolio templado). Un porcentaje mucho mayor de la energía es aprovechada por los detritívoros y descomponedores.

Otro aspecto interesante que resulta del estudio de las relaciones tróficas es la discusión del papel que juegan las especies que forman parte de ellas en la regulación de su funcionamiento. La conclusión es que la influencia de unos organismos sobre otros también puede ser indirecta, es decir, una especie que se alimenta de otra no sólo afecta a ésta, sino que puede tener cierto efecto en otras especies que forman parte de la red trófica.

## **Anexo 2.** Lectura: Flujo de energía y ciclos biogeoquímicos.

### **Flujo de energía**<sup>2</sup>

Jiménez (2011)

Todos los seres vivos de un ecosistema se relacionan a través de las cadenas o redes tróficas, en las que se lleva a cabo un continuo flujo de energía y reciclaje de la materia. En este apartado se describirá el flujo de energía y posteriormente se explicará el reciclaje de materiales cuando se traten los ciclos biogeoquímicos.

La energía se define como la capacidad de realizar trabajo y sus unidades de medición son las calorías o julios. Una manera de describir el flujo de energía en los ecosistemas es a través de las relaciones alimentarias. La cantidad de energía que pasa de un nivel trófico a otro depende del tipo de ecosistema y de las fluctuaciones de los factores abióticos de acuerdo con las estaciones del año. Los organismos que obtienen su energía de una fuente común constituyen un nivel trófico y ocupan una posición en la cadena o red, que depende del número de pasos que lo alejan de la fuente principal de energía.

La transferencia de energía en los ecosistemas cumple con las leyes de la termodinámica. La primera establece que la energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma, lo que implica que el paso de energía de un nivel a otro nunca será del 100%, pues una buena parte de ésta se disipa como calor, que es una forma no utilizable por los seres vivos. Lo anterior determina que la energía sólo pueda ser utilizada una sola vez en cada nivel trófico; es decir, su flujo es unidireccional, por lo que será necesario un abastecimiento externo y continuo proveniente del Sol para que el ecosistema siga funcionando.

### **Ciclos biogeoquímicos**

Durante la transferencia de energía entre cada compartimiento del ecosistema hay pérdida en forma de calor, por lo que es necesario un aporte continuo de energía; en cambio los elementos químicos circulan repetidas veces a través de los componentes vivos y no vivos del ecosistema. No obstante, ambos procesos están estrechamente relacionados, ya que el flujo de energía impulsa el movimiento de los materiales. Un ejemplo claro lo constituye el movimiento del agua, cuya transferencia depende en gran medida de la acción de la energía solar.

Los ecosistemas son sistemas abiertos, y por lo tanto tienen entradas y salidas de materia. Este movimiento ocurre a través de varios mecanismos, como la migración de organismos, la circulación en cuerpos de agua como ríos y arroyos, la erosión, el movimiento de la atmósfera y por la actividad humana. Sin embargo, el uso de combustibles fósiles, de fertilizantes y otros químicos ha alterado considerablemente la circulación de los materiales naturales y además introduce contaminantes como plomo, cadmio y otros en los ciclos naturales.

Una parte de la circulación de la materia ocurre entre el componente biótico del ecosistema: de los autótrofos o productores a los herbívoros; de éstos a los carnívoros y cuando mueren actúan los desintegradores y detritívoros. Gracias a la acción de los descomponedores que desdoblán las moléculas orgánicas y las reducen a nitratos, fosfatos, carbonatos, etcétera, estos nutrientes son utilizados de nuevo por los autótrofos; sin embargo, la circulación de estas sustancias no solamente depende de los seres vivos, sino que implica procesos geológicos y químicos, razón por la cual se les ha dado el nombre de ciclos biogeoquímicos.

---

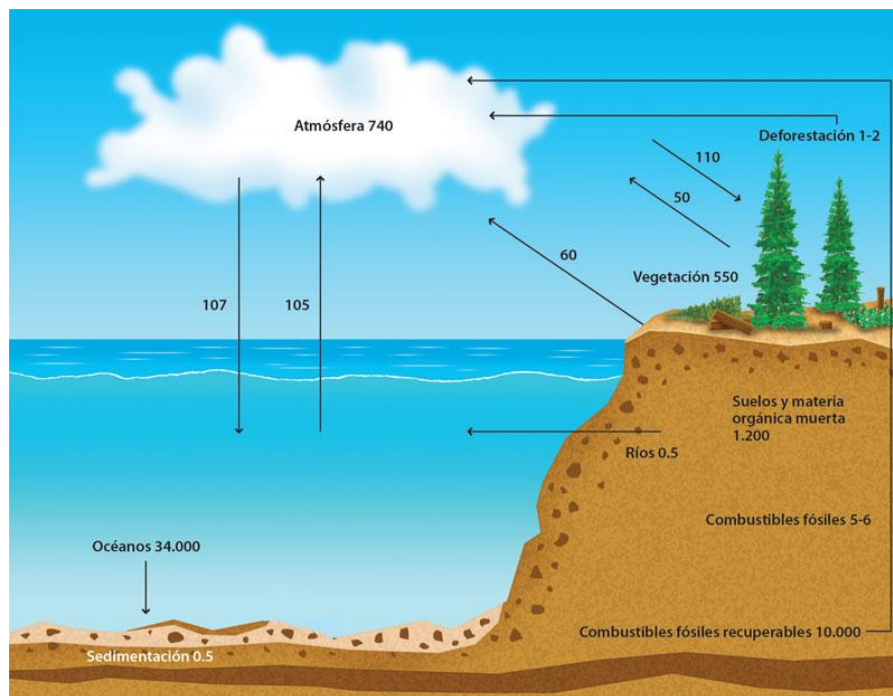
<sup>2</sup> Jiménez, L. P. (Coord.) (2011). *Biología*. Enciclopedia de Conocimientos fundamentales. Universidad Nacional Autónoma de México. Siglo XXI. Vol. 4. p. 361-371.

Los seres vivos están constituidos principalmente de moléculas orgánicas: carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, que requieren para su formación de elementos como carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo. La disponibilidad de éstos en la Tierra depende de procesos propios de la atmósfera, hidrosfera, litosfera y biosfera, que modifican su disponibilidad para los productores.

Para comprender la manera como fluye la materia en los ecosistemas, es necesario considerar que circulan entre diferentes compartimientos. No todos los nutrientes tienen la misma movilidad: algunos tienen la capacidad de circular por todo el planeta, ya que se mueven en la atmósfera, la hidrosfera, el suelo y los seres vivos, como es el caso del carbono, el nitrógeno y el agua; en cambio, otros tienen una movilidad más limitada debido a que no pasan por la atmósfera, como el potasio y el fósforo. De acuerdo con lo anterior, los ciclos biogeoquímicos se clasifican en gaseosos y sedimentarios. En los ciclos gaseosos, el reservorio principal de los nutrientes es la atmósfera y la hidrosfera; en cambio, en los ciclos sedimentarios el principal reservorio lo constituyen el suelo, las rocas y los minerales, aunque los compuestos también pueden entrar o salir del ecosistema disueltos en el agua. Existen otros ciclos como el del azufre, que comparte características tanto con los gaseosos como con los sedimentarios.

La importancia de los ciclos biogeoquímicos radica en el hecho de que aseguran la disponibilidad de todos los elementos necesarios para la formación de moléculas orgánicas en los ecosistemas y la permanencia de la vida en el planeta.

### Ciclos atmosféricos



**Ciclo del carbono** | La atmósfera y la hidrosfera son la reserva fundamental de carbono que se encuentra en forma de moléculas de CO<sub>2</sub> y carbonatos, que los seres vivos pueden asimilar. Este gas compone 0.03% de la atmósfera y cada año se consume 5% de esta reserva por los procesos fotosintéticos. El regreso del CO<sub>2</sub> a la atmósfera ocurre por efecto de la respiración de los seres vivos, que oxidan los alimentos produciendo CO<sub>2</sub>.

*Esquema del ciclo del carbono en la naturaleza. Los valores se expresan en gigatoneladas. © Raúl Cruz.*

La mayor parte de este retorno se debe a la actividad respiratoria de las raíces de las plantas y de los organismos del suelo, especialmente de las bacterias, y en mucha menor escala, por increíble que parezca, por la de los animales. De lo anterior, puede deducirse que la fotosíntesis y la respiración constituyen dos procesos

que están implicados en el flujo del carbono en la naturaleza, sin olvidar que los combustibles fósiles almacenan grandes cantidades de carbono que permanecen inalterables, a menos que el hombre los utilice.

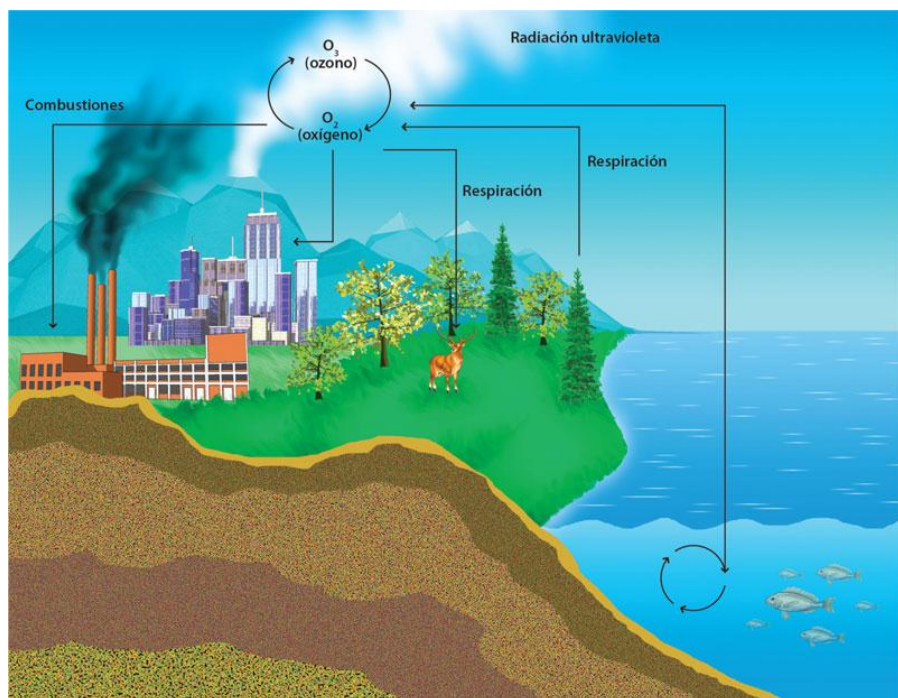
Los organismos acuáticos toman el carbono del agua, que suele hallarse en mayor concentración que otros gases como el  $O_2$  o el  $N_2$ , porque forma ácido carbónico al reaccionar con el agua, el cual posteriormente se transforma en carbonatos. Algunos organismos de los ecosistemas marinos utilizan el  $CaCO_3$  para formar sus conchas, caparazones o esqueletos como en el caso de los arrecifes coralinos. Cuando estos organismos mueren, sus restos calcáreos se depositan en el fondo formando rocas sedimentarias calizas, en las que el carbono se retira del ciclo por miles y millones de años, para regresar lentamente a la atmósfera, conforme se disuelven estas rocas.

La circulación del carbono presenta algunas diferencias entre los ambientes acuáticos y los terrestres, ya que en los primeros la fijación del  $CO_2$ , durante la fotosíntesis depende de la cantidad de gas que se disuelve en el agua, mientras que en los terrestres la fijación se da directamente en la atmósfera. Asimismo, se presentan variaciones estacionales y geográficas, pues la captura de  $CO_2$  depende también de la cobertura vegetal existente en un área determinada y de la cantidad de follaje.

El reciclaje del carbono es influido por factores como la precipitación y la temperatura, ya que éstos afectan la tasa fotosintética, así como la velocidad de la descomposición de la materia muerta llevada a cabo por los descomponedores; en los ecosistemas con altas temperaturas y niveles de precipitación como los bosques tropicales, el carbono circula a una mayor velocidad que en los bosques de coníferas o en los bosques templados, que son ecosistemas con temperaturas más bajas y menor disponibilidad de agua.

Es necesario resaltar que las actividades humanas han alterado significativamente el ciclo del carbono, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles, que origina una mayor acumulación de  $CO_2$  en la atmósfera. Diversos experimentos y registros de datos demuestran que las plantas responden de diferente manera en ambientes enriquecidos en  $CO_2$ . Si bien muchas tienen tasas fotosintéticas mayores, a largo plazo

pueden responder en sentido inverso, al inhibirse algunas de las enzimas de la fotosíntesis (por ejemplo, la RuBisCo; véase el tema Biología celular, molecular y bioquímica), o bien, producir menos hojas a costa de una mayor producción de raíces.



*Esquema del ciclo del oxígeno en la naturaleza. © Raúl Cruz.*

El aumento de  $CO_2$  y otros gases contaminantes en la atmósfera se asocia con un fenómeno

denominado "efecto invernadero", que consiste en la absorción de energía calorífica por parte de las moléculas de vapor de agua y de CO<sub>2</sub> presentes en la atmósfera, que impiden la disipación del calor desde el suelo y mantienen las condiciones adecuadas para el desarrollo de la vida. Sin embargo, debido a la mayor concentración de gases de invernadero en la atmósfera, la Tierra mantiene más calor del que debiera, lo que contribuye al calentamiento global del planeta.

**Ciclo del oxígeno** | La reserva básica de oxígeno utilizable por los seres vivos está en la atmósfera y su ciclo se vincula en forma estrecha con el del carbono, pues el proceso mediante el cual éste es asimilado por las plantas, supone a la vez, el retorno del oxígeno a la atmósfera, mientras que el proceso de respiración genera un efecto inverso.

De particular interés para los seres vivos es la formación de ozono dentro del ciclo natural del oxígeno. En este proceso, algunas moléculas de O<sub>2</sub> activadas por las radiaciones muy energéticas de onda corta, se rompen en átomos libres de oxígeno que reaccionan con moléculas de O<sub>2</sub>, para formar ozono (O<sub>3</sub>), que al absorber radiaciones ultravioletas vuelve a convertirse en O<sub>2</sub>.

**Ciclo del nitrógeno** | El nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis de moléculas biológicas como los aminoácidos, los nucleótidos y la clorofila. Los productores lo toman en forma de nitratos o amoníaco —únicas formas utilizables por los organismos autótrofos— directamente del suelo o del agua. El nitrógeno se encuentra en abundancia en la atmósfera en forma de N<sub>2</sub>, en concentración aproximada de 78%, pero no se combina fácilmente con otros elementos; en esta forma química las plantas no pueden utilizarlo directamente.

El nitrógeno es uno de los elementos que frecuentemente escasean, lo que constituye un factor limitante de la productividad de muchos ecosistemas; es por ello que tradicionalmente se han abonado los suelos con nitratos para mejorar el rendimiento agrícola. Durante muchos años se utilizaron productos naturales ricos en nitrógeno como el guano o el nitrato de Chile; actualmente, a raíz de la síntesis artificial de amoníaco, es posible fabricar abonos nitrogenados que se emplean en grandes cantidades en la agricultura.

El ciclo del nitrógeno incluye varios procesos: la fijación del nitrógeno atmosférico, amonificación, nitrificación, asimilación y desnitrificación.

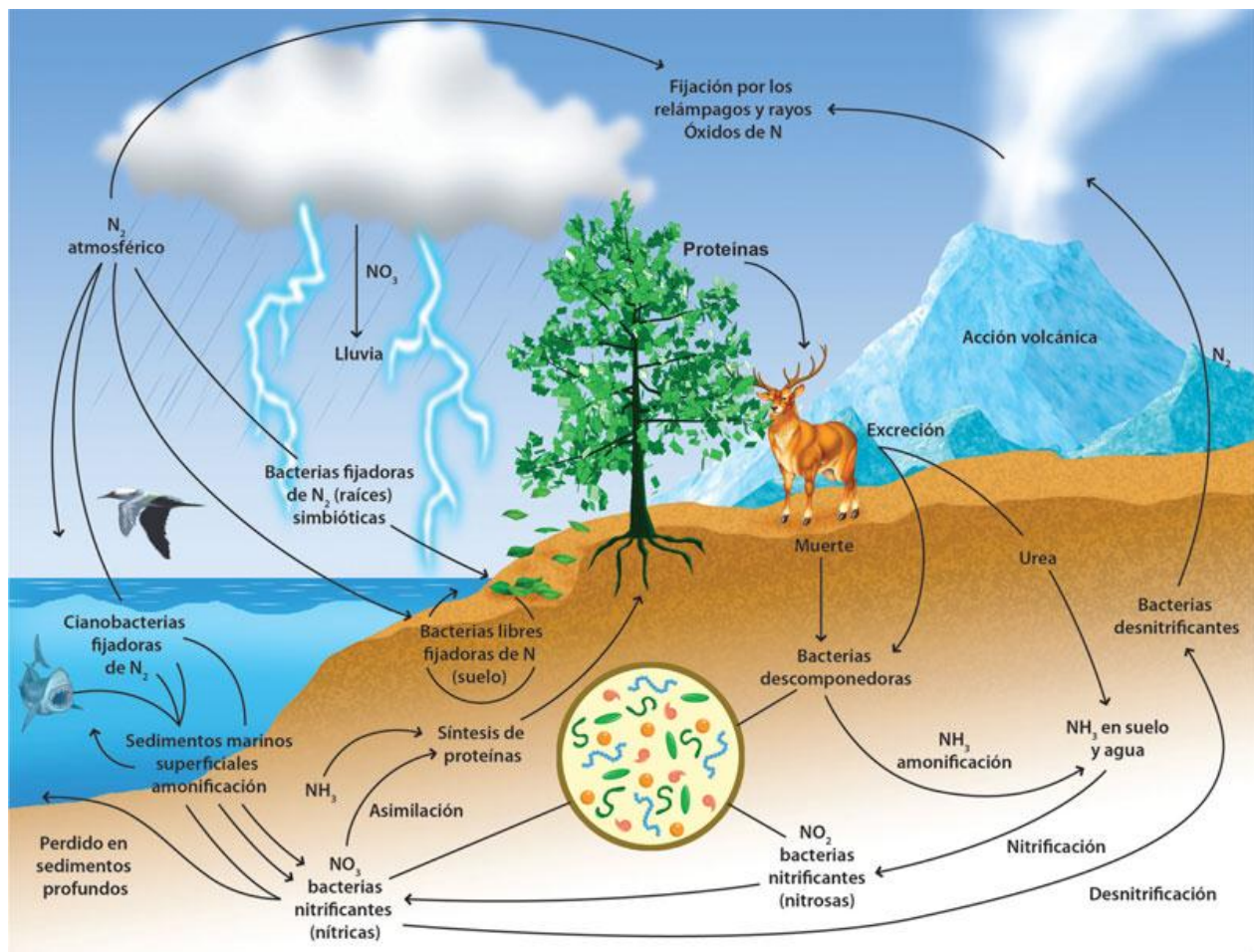
La transformación del nitrógeno atmosférico en nitratos o amoníaco (fijación) se lleva a cabo de dos maneras: por reacciones químicas de alta energía que aportan los relámpagos durante las tormentas eléctricas o bien a través de procesos biológicos efectuados por algunas bacterias denominadas fijadoras de nitrógeno. Entre ellas están las que viven en simbiosis con las raíces de las leguminosas y de otras plantas (por ejemplo *Rizhobium*), bacterias de vida libre como *Azotobacter* y *Clostridium*, y las cianobacterias que viven en cuerpos de agua (como en los campos de arroz), el suelo, y algunas asociadas con ciertas especies de líquenes.

La amonificación ocurre cuando los organismos mueren y actúan bacterias que transforman las moléculas orgánicas —proteínas y ácidos nucleicos— en compuestos de amoníaco para regresarlos al suelo. Esto también ocurre con las excreciones de los organismos.

En la nitrificación, las bacterias nitrificantes como *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, que se encuentran en el suelo, convierten el amoníaco en nitritos (NO<sub>2</sub>) y nitratos (NO<sub>3</sub>), que pueden ser utilizados por los vegetales.

Las raíces de las plantas absorben el amoníaco o el nitrato y lo utilizan para la síntesis de sus biomoléculas (asimilación). Los animales al alimentarse de plantas y otros organismos, incorporan el nitrógeno a sus tejidos y como resultado de su metabolismo se genera amonio, un ión que resulta tóxico. La eliminación del amonio se

hace en forma de amoníaco soluble, como en algunos peces y organismos acuáticos; como urea, en el hombre y otros mamíferos; y en forma de ácido úrico en las aves y otros animales de zonas áridas. Estos compuestos se depositan en tierra o agua, de donde son tomados por las plantas y algunas bacterias.



Esquema del ciclo del nitrógeno en la naturaleza. © Raúl Cruz.

La mayor parte de los compuestos nitrogenados que toman las plantas del suelo se produce por acción de bacterias y hongos que actúan como descomponedores. Otras bacterias, las desnitrificantes, regresan el nitrógeno a la atmósfera, al reducir el nitrato a nitrógeno molecular ( $N_2$ ) completando de esta forma el ciclo.

El nitrógeno puede entrar o salir de los ecosistemas terrestres, en forma de gas o como nitratos y nitritos disueltos en agua, que son transportados por los ríos y arroyos o por lixiviación. Los ecosistemas acuáticos reciben nitrógeno proveniente del suelo, además de la fijación del  $N_2$  atmosférico que llevan a cabo las cianobacterias. Otro aporte de nitrógeno para estos ambientes es la materia muerta en descomposición que libera amoníaco.

El ser humano altera el ciclo del nitrógeno con el uso de fertilizantes químicos y mediante la emisión de gases por parte de la industria y los automóviles; esto incrementa la producción de compuestos nitrogenados que alteran el balance natural de este elemento, tanto en los ecosistemas terrestres como en los acuáticos. Los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) que se acumulan en la atmósfera provenientes de las actividades antropogénicas, permanecen ahí por largo tiempo y reaccionan fotoquímicamente con el ozono, transformándolo en  $O_2$  y dióxido de nitrógeno ( $N_2O$ ). Por otro lado, el exceso de nitratos en el suelo y en el agua, provenientes de los

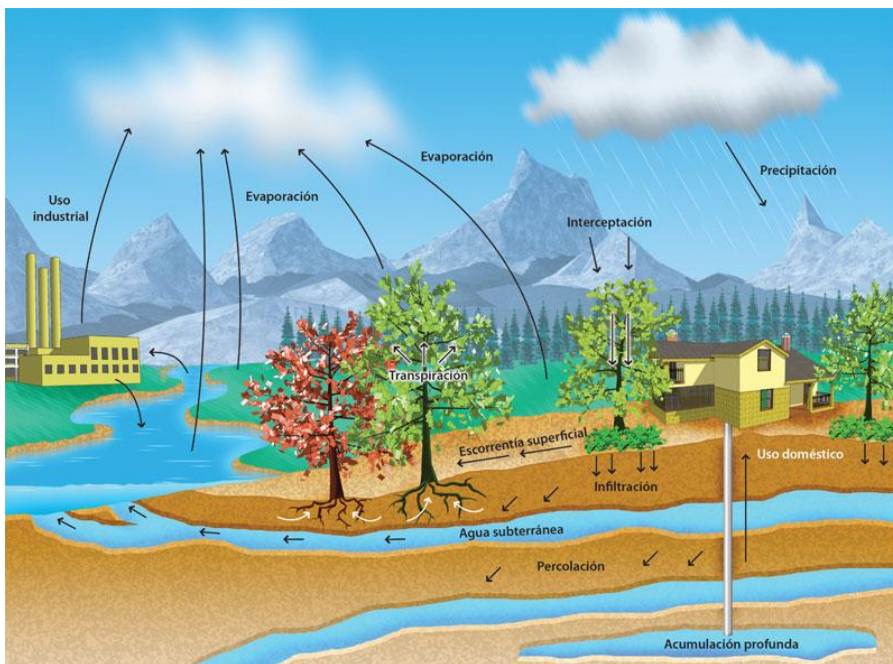


fertilizantes usados en la agricultura, afecta negativamente a todos los ecosistemas. En el medio acuático, dañan la calidad del agua al favorecer la eutroficación, que degrada los cuerpos de agua continentales.

Además, en muchos ecosistemas en los que el nitrógeno es un elemento escaso, los vegetales son muy eficientes para la captura de compuestos nitrogenados y un exceso de estos inhibe el desarrollo de estas plantas, al dañar su sistema radicular.

**Ciclo del agua** | Este es tal vez el más dinámico de los ciclos, pues permanece en constante movimiento. La fuente principal de agua en nuestro planeta son los océanos; la energía del Sol provoca la evaporación de grandes cantidades de agua. En la atmósfera, el vapor de agua se condensa y cae en forma de lluvia o nieve. El agua que cae en los continentes desciende desde las montañas por los ríos o se filtra en el terreno acumulándose en forma de aguas subterráneas, pero gran parte de las aguas continentales acaba en los océanos. En todo su trayecto, el agua se evapora parcialmente y regresa a la atmósfera en un proceso incesante. Cuando el agua es incorporada por los seres vivos en sus tejidos, también es transpirada y regresa a la atmósfera. La energía del Sol mantiene este ciclo en funcionamiento continuo.

La vegetación puede tener una influencia importante en el flujo del agua; en condiciones normales una cierta cantidad de ella se absorbe por las raíces y es eliminada por la transpiración a través de las hojas; mientras parte de la que cae como precipitación se evapora o se escurre hacia el suelo. Cuando no hay vegetación, el agua de la lluvia se evapora, pero la mayor parte fluye hacia las corrientes de agua, arrastrando con ella al suelo del bosque.



Cuando se eliminan los árboles se pierde capacidad de evapotranspiración, mediante la cual se envía una gran cantidad de agua a la atmósfera, debido principalmente al hecho de que los estomas de las hojas tienen que estar abiertos para permitir la entrada del  $\text{CO}_2$ .

*Esquema del ciclo del agua en la naturaleza. © Raúl Cruz.*

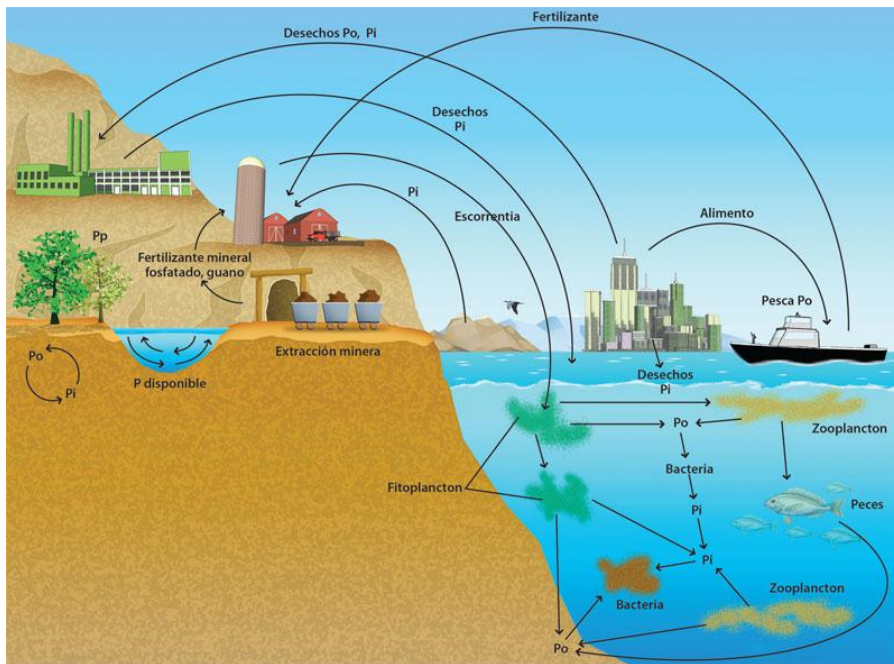
A pesar de la enorme cantidad de agua que existe en el planeta, su disponibilidad para los ecosistemas terrestres está limitada por factores como el clima y la actividad humana, que pueden llevar a la desertificación; por esto, el agua se considera un factor limitante para la productividad primaria de los ecosistemas terrestres.

Por otro lado, debido a su gran capacidad de disolución y a la naturaleza global de su reciclamiento, el agua constituye el vehículo a través del cual se mueven numerosos nutrientes entre los ecosistemas acuáticos y

terrestres, lo que facilita la interrelación entre ambos. No obstante, también puede ser el medio de transporte y deposición de una gran cantidad de sustancias y materiales contaminantes, que tienen efectos negativos aún en lugares lejanos a los centros urbanos e industriales donde se generan dichos contaminantes.

## Ciclos sedimentarios

**Ciclo del fósforo** | La corteza terrestre es el mayor depósito de este elemento, de donde es extraído por meteorización de las rocas o por la actividad volcánica; de esa manera, el fósforo queda disponible para las plantas. También es arrastrado fácilmente por los ríos hacia el mar, donde una buena parte se sedimenta y llega al fondo oceánico para formar rocas que pueden tardar millones de años para liberar de nuevo las sales de fósforo. Sin embargo, una parte de este elemento es absorbida por el plancton que sirve de alimento a organismos filtradores, a peces y a crustáceos. Cuando estos animales son comidos por aves, sus heces o guano regresan una parte de ese fósforo a la superficie.



*Esquema del ciclo del fósforo en la naturaleza. Pp indica fósforo particulado, Po significa fosfatos orgánicos y Pi es fosfatos inorgánicos. © Raúl Cruz.*

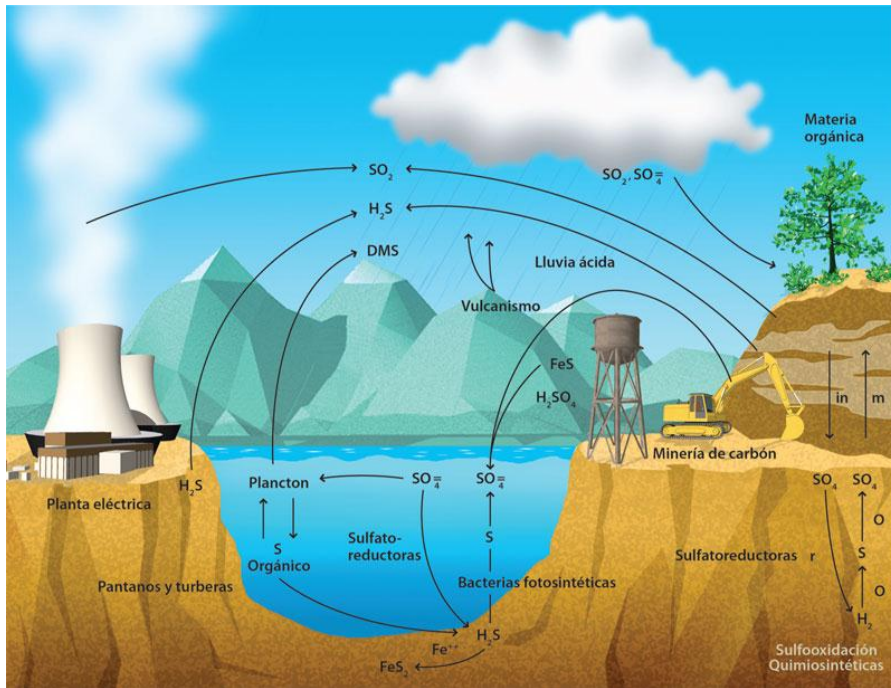
El fósforo es el principal factor limitante en los ecosistemas acuáticos, pero en aquellos lugares en los que las corrientes marinas suben del fondo arrastrando fósforo sedimentado, el plancton prolifera en la superficie, fenómeno conocido como afloramiento que permite la multiplicación de los bancos de peces, razón por la cual se han

establecido pesquerías importantes como las de la Sonda de Campeche y las del Golfo de California.

No obstante la enorme importancia que representa el fósforo para los ecosistemas acuáticos, cuando llegan a los depósitos de agua grandes cantidades de este elemento, provenientes de la actividad agrícola o de aguas residuales, se produce una proliferación desmesurada de fitoplancton, que provoca turbidez. Además, el exceso de organismos causa un descenso en la concentración de oxígeno que ocasiona la muerte de peces e invertebrados; este fenómeno recibe el nombre de eutrofización. La solución para este problema es la modificación de las prácticas agrícolas, la desviación de las aguas residuales o el tratamiento químico que elimine el fósforo que contienen.

**Ciclo del azufre** | El reciclamiento del azufre en los ecosistemas tiene etapas gaseosas y sedimentarias. El azufre contenido en la atmósfera se encuentra principalmente en forma de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y proviene de varias fuentes: la actividad volcánica, la descomposición de materia muerta y la utilización de combustibles

fósiles. Por medio de diversas reacciones químicas, este gas da origen tanto a ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) como a sulfatos ( $SO_4$ ), que se disuelven en el agua de lluvia y se depositan en el suelo. Una vez en el suelo o en el agua, las cianobacterias, algas y plantas absorben los sulfatos, que es la única forma aprovechable para ellas. El azufre pasa por los diferentes niveles tróficos hasta los descomponedores, quienes degradan la materia muerta, reduciendo los compuestos orgánicos en sulfatos, mismos que pueden ser utilizados nuevamente por los organismos autótrofos. Este elemento regresa a la atmósfera en forma de  $H_2S$ , mediante los procesos de descomposición de la materia muerta o bien por la transformación bacteriana de los sulfatos del suelo.



*Esquema del ciclo del azufre en la naturaleza. O es oxidación, r es reducción, m es movilización e in es inmovilización. © Raúl Cruz.*

Al igual que otros ciclos biogeoquímicos, el del azufre ha sido alterado por las actividades humanas. El dióxido de azufre ( $SO_2$ ) presente en la atmósfera proviene tanto de las fuentes naturales (60%) como de la industria, las centrales eléctricas y los automóviles, que contribuyen con el porcentaje restante (40%). El  $SO_2$  es uno de los contaminantes más frecuentes y produce efectos negativos en los

seres vivos. En los humanos es causante de trastornos como irritación del tracto respiratorio y asma bronquial, mientras en las plantas puede provocar desde daños foliares hasta la muerte.

Debido a su movilidad en la atmósfera, este gas frecuentemente es transportado a regiones distantes, provocando graves daños. El exceso de  $SO_2$  junto con los óxidos de nitrógeno, originan el fenómeno de la lluvia ácida; ésta se da mediante reacciones químicas entre estos compuestos y el vapor de agua, aceleradas por la acción de la energía solar. En los ecosistemas, la lluvia ácida puede modificar el balance de nutrientes de los vegetales, del suelo y del agua; además de causar daños a la salud humana y a la infraestructura inmobiliaria, lo que provoca grandes pérdidas económicas.

**Anexo 3.** Artículo: La importancia ecológica de las algas en los ríos.

## **La importancia ecológica de las algas en los ríos**<sup>3</sup>

Bojorge-García y Cantoral (2016)

### RESUMEN

A través de una revisión de diversos estudios, se realiza un planteamiento de la estructura y función que tienen las algas bentónicas en los ríos, desde un punto de vista de la ecología de comunidades, la participación que tienen en la productividad primaria autóctona de los ríos y su ecofisiología, en los ciclos biogeoquímicos del agua, su aporte energético en las redes tróficas, la función que tienen en la dinámica hídrica de los ambientes lóticos, su uso como indicadores biológicos y se plantean algunos usos que se han realizado con especies de estos ambientes en la industria farmacéutica y alimenticia.

### INTRODUCCIÓN

Los ambientes lóticos (ríos, arroyos, riachuelos) son el sistema dominante de las aguas epicontinentales y se diferencian de otros sistemas acuáticos por tener un flujo de agua unidireccional (Giller & Malmqvist, 1998). Estos sistemas forman redes hidrológicas que capturan el agua de manera jerárquica y la concentran en un cauce principal (Sánchez et al., 2003) por lo que enlazan múltiples componentes del paisaje, incluyendo los suelos y las aguas subterráneas con la atmósfera y los océanos (Battin et al., 2009). Su flujo se utiliza como fuente de energía e influye en el clima de la Tierra (Palmer, 1997). Es por ello que el estudio de estos ambientes y de la comunidad biológica que en ellos habita, brinda información del ambiente que los rodea e incluso de regiones más lejanas.

Los ríos son ambientes altamente diversos donde la combinación de variables espaciales y temporales ejerce una fuerte influencia sobre el establecimiento, la distribución e interacciones de los organismos (Scarsbrook & Townsend, 1993). Las principales variables que inciden sobre el establecimiento y permanencia de las comunidades autótrofas en los ríos son la disponibilidad lumínica y la velocidad de corriente (Allan, 1995; Krupek et al., 2007; Krupek et al., 2012; Bojorge-García et al., 2014).

Las algas adheridas al sustrato habitan de manera exitosa los ambientes lóticos, ya que han desarrollado una gran diversidad de estructuras especializadas que les permite fijarse al sustrato y evita que sean arrancadas por la velocidad de corriente (Carmona et al., 2005; Ramírez & Carmona, 2005; Carmona et al., 2006). Asimismo, los pigmentos accesorios (ej. clorofila b, c, d y ficobiliproteínas) que poseen, captan el intervalo de la luz fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés, 400-700 nm) que la clorofila a no absorbe, lo que les permite establecerse en un mayor número de microhábitats que las plantas vasculares.

Por otra parte, las algas bentónicas tienen una gran capacidad para responder rápidamente a los cambios ambientales gracias a sus historias de vida cortas, estrategias reproductivas y estructuras especializadas. Por ejemplo, algunas poblaciones presentan talos dioicos, germinación de cigotos al interior del talo y

---

<sup>3</sup> Bojorge-García, M. G. y Cantoral U. E. A. (2016). La importancia ecológica de las algas en los ríos. *Hidrobiológica*, 26(1), 1-8. Recuperado en julio, 2019 de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972016000100002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000100002&lng=es&nrm=iso)

fragmentación o bipartición del talo vegetativo, que permiten incrementar el éxito reproductivo. Mientras que para asegurar la permanencia de las poblaciones en las épocas de mayor descarga cuando los crecimientos visibles desaparecen, desarrollan estructuras de resistencia (esporas, auxosporas o rizoides) o fases alternantes del ciclo de vida (como la fase Chytridia de las algas rojas) que toleran el efecto mecánico del agua (Carmona et al., 2006). En las épocas de estiaje y alta luminosidad desarrollan mucilagos que las protegen de la desecación, asegurando de esta manera su permanencia (Boney, 1981).

Las algas bentónicas tienen un papel importante en los ambientes lóticos, ya que participan intensamente en los ciclos biogeoquímicos, la retención de nutrientes, la formación y estabilidad de los sedimentos y modifican la velocidad de la corriente, lo que genera microhábitats que son utilizados por otros organismos acuáticos (peces y macroinvertebrados) como zonas de refugio, para depositar sus huevos o como alimento (Stevenson, 1996; Graham & Wilcox, 2000).

También son consideradas los productores primarios de mayor importancia en los sistemas lóticos (Minshall, 1978), debido a que son más abundantes y permanentes que las plantas vasculares acuáticas y tienen la capacidad de transformar elementos químicos inorgánicos de diversas fuentes (Fig. 1) en compuestos orgánicos, que pueden ser empleados por organismos de otros niveles tróficos (Round, 1981; Mulholland et al., 1994; Guiller & Malmqvist, 1998; Cushing & Allan, 2001).

El presente escrito está estructurado con los siguientes apartados: productividad primaria y ecofisiología, ciclos biogeoquímicos, interacciones tróficas, efectos de los crecimientos algales en la velocidad de corriente, en la estabilidad de sedimentos y en la disponibilidad de refugios, y finalmente, la relación de las algas de ríos con los humanos. Con lo anterior, se pretende poner en evidencia la importancia que tiene la comunidad fotosintética algal de los ambientes lóticos, no sólo para la dinámica de estos ambientes, sino también para otros sistemas biológicos.

Productividad primaria y ecofisiología. La incorporación de energía a las redes tróficas de los ambientes lóticos puede ser de origen alóctono, mediante el ingreso de materia orgánica de origen terrestre (sobre todo de la vegetación riparia) o autóctono, mediante la de los autótrofos que habitan en el agua: algas, musgos y plantas vasculares acuáticas. En términos de productividad primaria se considera que la comunidad de algas bentónicas es el soporte energético de las redes tróficas de los ambientes lóticos de bajo orden (Biggs, 2000), ya que su elevada productividad le permite sostener una comunidad de herbívoros de entre 10 y 20 veces más biomasa que la suya (McIntire, 1973; Gregory, 1980).

La importancia de la fuente de energía autóctona para satisfacer las demandas energéticas de las redes tróficas de los sistemas lóticos y en particular la de las algas bentónicas, ha sido confirmada por estudios efectuados principalmente con isótopos estables, como los realizados por Lau y colaboradores (2009), quienes reportan que las algas representan del 29 % al 98 % de la biomasa que usan los consumidores en nacimientos de ríos tropicales.

La productividad primaria autóctona del bentos como soporte energético de la trama trófica de los ambientes lóticos y en particular la de las algas, es importante tanto para los ríos con bajo ingreso de material de origen alóctono como los de alto ingreso (Dudley et al., 1986; Biggs, 2000; Kobayashi et al., 2011). Ésto se debe principalmente a que: 1) las algas y cianofitas son los organismos autótrofos de mayor abundancia en el bentos (Biggs, 2000); y 2) son la fracción más importante en términos de alimento efectivamente asimilado por la

biota (Mantel et al., 2004; Brito et al., 2006; Lau et al., 2009; Kobayashi et al., 2011) por su fácil digestión, debido a la ausencia de lignina y otras estructuras vegetales, lo que los hace un recurso más accesible que las plantas vasculares acuáticas para los invertebrados y los peces (Boland et al., 2008); además de, 3) ser un alimento de mayor calidad que los detritos al tener una menor relación carbono-nitrógeno (C:N) (Cummins & Klug, 1979; Hauer & Lamberti, 2007).

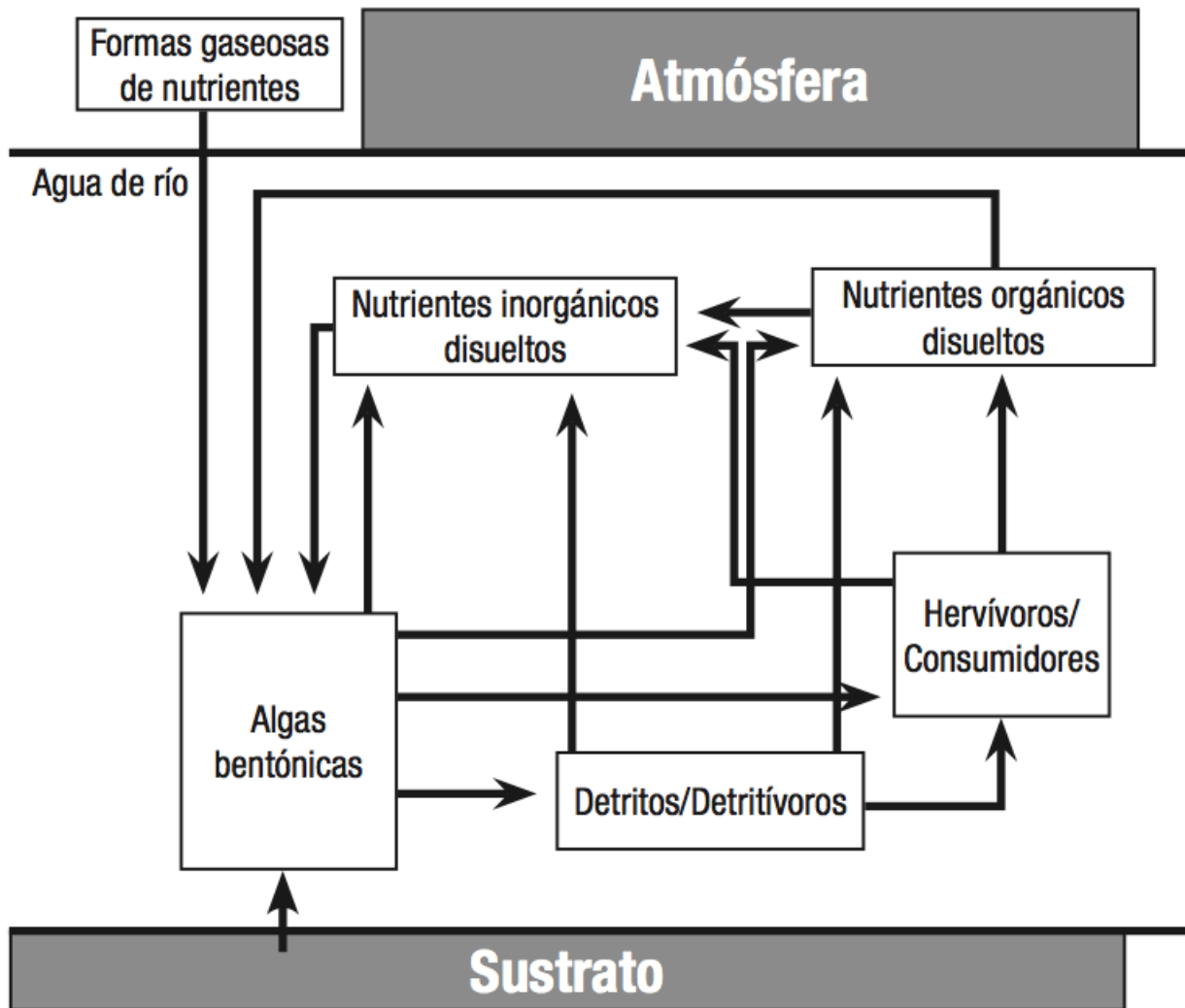


Figura 1. Ciclos de nutrientes en los ecosistemas lóticos y el papel de las algas bentónicas. Modificada de Mulholland, (1996).

Otro aspecto interesante de las algas, que tiene que ver con su ecofisiología, es el relacionado a su sensibilidad y pronta capacidad de respuesta ante la eutroficación de las aguas de los ríos, producto de la incorporación de diferentes sustancias derivadas de actividades antrópicas diversas como la agricultura, la industria y los desechos de las ciudades. Para ello, se han desarrollado una serie de índices que permiten valorar la respuesta de algún grupo de algas específico, por ejemplo el índice trófico de diatomeas (TDI por sus siglas en inglés, Kelly & Whitton, 1995), o de varios grupos como el índice trófico del perifiton (PIT por sus siglas en inglés, Schneider & Lindstrøm, 2011). Este último, fue realizado para ríos Nórdicos y compila información para más de 350 sitios

en las tierras bajas de Noruega, que relaciona la concentración de fósforo en las aguas y la presencia de algas en un gradiente de condiciones que van de oligotróficas a eutróficas.

Otro ejemplo, se muestra en el estudio realizado por Loza y colaboradoras (2014), quienes estudiaron varias cianobacterias del río Guadarrama en España y realizaron bioensayos con enriquecimiento de fósforo y nitrógeno, reconociendo los límites de tolerancia de las especies. Con ello, pueden relacionar las formas de crecimiento en relación a concentraciones de nutrientes, información valiosa para el manejo ambiental.

Otro tema interesante, ha sido el conocer cómo pueden vivir ciertas algas en ríos con bajos contenidos minerales y pequeñas concentraciones de nitrógeno y fósforo. Para entender como las cianobacterias asimilan el fósforo en ríos oligotróficos, el estudio de Wood y colaboradores (2015), pone de manifiesto el papel crucial que tiene la vaina en dicho proceso. Realizaron estudios con *Phormidium* que crece en ríos oligotróficos de Nueva Zelanda, observaron que las matas de filamentos de *Phormidium* tienen una delgada y adherente matriz mucilaginosa con el sustrato y observaron que en el día la actividad fotosintética eleva el pH dentro de las matas y por las noches la respiración reduce el oxígeno disuelto. Estas condiciones, permiten la liberación de los fosfatos de los sedimentos, posibilitando su incorporación dentro de las matas de filamentos, mismos que *Phormidium* emplea para su crecimiento. Los resultados que obtuvieron, mostraron que los sedimentos finos son una fuente de fósforo que posibilita el crecimiento y la proliferación de los crecimientos de *Phormidium* (Wood et al., 2015).

Los ciclos biogeoquímicos. Dichos ciclos son los responsables del movimiento e intercambio de materia y energía entre la atmósfera, la hidrósfera, la litósfera y la biósfera (Graham & Wilcox, 2000). Los ciclos biogeoquímicos en todos los ecosistemas constan de una secuencia de procesos que incluyen: 1) la captura de elementos inorgánicos (en algunos casos orgánicos) por la biota; 2) la transferencia de estos elementos de un organismo a otro a través de las redes tróficas; 3) la liberación al ambiente de los elementos en formas biodisponibles (formas solubles, re-mineralización) y 4) la re-asimilación de los elementos por los organismos (Mulholland, 1996).

Las algas participan activamente en los ciclos de nutrientes proporcionando servicios ecosistémicos y biogeoquímicos (Sigee, 2005; Barsanti & Gualtieri, 2006).

En los ambientes lóticos las algas bentónicas intervienen de manera directa en los ciclos biogeoquímicos, por ejemplo: 1) al incrementar la oferta total de nutrientes, ya que son capaces de obtener los nutrientes del sustrato (orgánico o inorgánico) al cual están adheridos a través de difusión pasiva, los procesos de intercambio de iones, o mediante la extracción activa de elementos del sustrato y de la atmósfera; 2) la captación de los nutrientes presentes en el agua del río; y 3) la transformación y remineralización de los nutrientes (Mulholland, 1996) (Fig. 1), ya que ésta sucede en gran medida en el fondo de los ríos cerca de la comunidad bentónica (Ellwood & Whitton, 2007; Wood et al., 2015).

Las algas bentónicas contribuyen con cerca del 2 pg de carbono orgánico terrestre, que se transforma o almacena cada año en los arroyos y ríos a nivel mundial (Battin et al., 2009) y son consideradas las principales captadoras de nitrógeno inorgánico y fósforo (orgánico e inorgánico) que se incorporan en los ríos (Marcarelli et al., 2008).

El nitrógeno es un componente esencial de todos los organismos vivos, este elemento forma parte de las proteínas, ácidos nucleicos y muchas otras biomoléculas (Barsanti & Gualtieri, 2006). El nitrógeno se encuentra dentro de los hábitats de agua dulce en una amplia gama de formas de las cuales únicamente los estados solubles son utilizados por la mayoría de los organismos (Sigeo, 2005). Sólo algunos organismos pueden utilizar formas insolubles como es el caso de algunas especies de cianobacterias, que por medio de los heterocistos (células especializadas en la fijación), capturan el nitrógeno atmosférico ( $\text{NO}_2$ ) y lo transforman en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y aminoácidos (Stevenson, 1996; Sigeo, 2005).

La fijación de nitrógeno atmosférico ( $\text{N}_2$ ) por las algas representa hasta el 85% del flujo neto de nitrógeno en el bentos, aunque la importancia de este proceso varía estacionalmente (Grimm & Petrone, 1997; Sigeo, 2005), de acuerdo al orden del río y la variación de las características fisicoquímicas del sistema. Por ejemplo, las altas concentraciones de fósforo favorecen la abundancia de taxa fijadores de nitrógeno y el aumento de la tasa de fijación de éste (Marcarelli & Wurtsbaugh, 2007) al incrementar la entrada de nitrógeno en las aguas.

Debido a que la fijación de nitrógeno es energéticamente muy costosa, se plantea que la energía lumínica es muy importante para este proceso, por lo que se espera que la tasa de fijación sea menor en la noche y en ríos sombreados que en el día y en ríos con alta luminosidad (Grimm & Petrone, 1997; Marcarelli et al., 2008). Asimismo, la captura de nitrógeno atmosférico es de menor importancia en los hábitats con alto contenido de nitrógeno, donde las algas bentónicas están más involucradas en la captura diaria de los nitratos y amonio, lo que da lugar en algunos arroyos a una variación diurna en las concentraciones de éstos y otros nutrientes, ya que el pH de las aguas circundantes puede elevarse considerablemente si los nitratos son la fuente de nitrógeno (por ejemplo el pH puede incrementarse de 7 hasta 9.3), o sufrir un leve incremento si es amonio (Sigeo, 2005), afectando la disponibilidad y absorción de otros nutrientes.

El fósforo es otro elemento esencial para los seres vivos, ya que es una molécula estructural de la célula al formar parte de los ácidos nucleicos y los fosfolípidos, además de ser parte de la molécula de ATP (Sigeo, 2005) que es responsable de las transformaciones energéticas celulares. Se considera que las algas son un elemento importante en los ambientes acuáticos para la transferencia de los fosfatos a otros organismos (Barsanti & Gualtieri, 2006). Esto se debe a que las algas son muy eficientes en la captura de este nutriente, ya que poseen enzimas fosfatasa a lo largo de su talo vegetativo que les permite capturar de manera eficaz el fósforo (orgánico e inorgánico) presente en el agua (Whitton et al., 2005). En los ambientes lóticos la comunidad de algas bentónicas es la principal responsable de la captura del fósforo (inorgánico e inorgánico) presente en la columna de agua (Sigeo, 2005; Ellwood & Whitton, 2007). Se estima que la comunidad bentónica de los ríos capta entre el 5 % y el 35 % del total del fosfato que se incorpora al sistema (Mulholland, 1996).

La captura del fósforo varía estacionalmente, registrando los valores más altos en promedio en la primavera de ambientes templados (Mulholland, 1996) y en función de la partícula del fósforo disponible, lo que en conjunto con otros factores incide sobre el desarrollo y la estructura de la comunidad heterótrofa de los ambientes lóticos. Por ejemplo en el estudio realizado por Ellwood & Whitton (2007) en un río de montaña del parque Nacional North Yorkshire Dales, los autores relacionaron el cambio de fósforo orgánico a inorgánico en el agua con la disminución de la población de *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Mart. Schmidt (diatomea pedunculada) que dominaba en el sistema y el incremento de diatomeas no pedunculadas y otras algas cuando el fósforo inorgánico aumentó. Este cambio en la comunidad incrementa las fuentes de alimento para los herbívoros, lo que puede favorecer una comunidad de herbívoros más diversa.



Cuando el fósforo es limitante, varios géneros de cianobacterias y unos pocos géneros de algas eucariotas desarrollan pelos al final del filamento donde se concentra la mayor actividad de las enzimas fosfatasas (Whitton et al., 2005), lo que les confiere una ventaja para la captura de fósforo en comparación a las especies que no los desarrollan (Mahasneh et al., 1990). Este proceso se expresa en un cambio de la composición específica de la comunidad algal como respuesta a los cambios en las concentraciones de fósforo. De esta manera se asegura la entrada de fósforo a las redes tróficas en condiciones limitantes del nutriente lo que mantiene el funcionamiento del ecosistema. Sin embargo, la habilidad de captura de fósforo de las algas puede traer consecuencias fatales para los ecosistemas, ya que el exceso de este nutriente causa crecimientos masivos de algas que provocan desequilibrio en la producción y el consumo (Barsanti & Gualtieri, 2006). Dentro de los ambientes lóticos, los ríos de planicie son más sensibles a presentar esta condición que los ríos de montaña, debido al aporte de materia orgánica proveniente de sus tributarios y la poca pendiente que presentan, lo que favorece la acumulación de la materia orgánica en el lecho del río.

Interacciones en las redes tróficas microbiológicas y macrobiológicas. Dentro de la comunidad bentónica las biopelículas o biofilms, tienen un papel importante en las redes tróficas de los sistemas lóticos, ya que los organismos que habitan dentro de la biopelícula soportan mejor algunas condiciones estresantes como la disminución de nutrientes, cambios de pH, temperatura, humedad, velocidad de corriente e irradiación lumínica que los organismos que habitan fuera de ésta (Boney, 1981; Burkholder, 1996). Debido a ello, las biopelículas son la comunidad más abundante y permanente de estos sistemas, por lo que contribuyen de manera importante en las funciones del ecosistema incluso en los flujos de carbono a gran escala (Besemer et al., 2009). Además son la fuente de alimento de mayor importancia para los protozoarios, macroinvertebrados bentónicos, algunos peces y crustáceos (Fuller et al., 1986; Bott, 1996; Pusch et al., 1998; Julius, 2007; Lefrancois et al., 2011). Las biopelículas están compuestas por hongos, bacterias, cianobacterias, algas eucariotas y microfauna (Romaní et al., 2008), la abundancia de estos organismos varía de acuerdo a la etapa seral de la sucesión en la que se encuentra la biopelícula (Besemer et al., 2007). Sin embargo, en varios estudios se reporta que la comunidad autótrofa es el componente mayoritario de las biopelículas (Romaní et al., 2004; Besemer et al., 2009).

La composición de la biopelícula será modificada por la interacción de sus poblaciones, la depredación, la herbivoría y las características fisicoquímicas del medio ambiente. A su vez, la estructura física y calidad nutricional de la biopelícula influye en la composición y abundancia de los herbívoros que junto con los factores ambientales, determina las interacciones de las redes tróficas (Bott, 1996). Aboal y colaboradores (2005) destacan la importancia de los mucílago algales en la retención y acumulación de sustancias tóxicas y cómo esto puede conferir ventajas para las algas, por ejemplo, indican que las algas que producen mucílago pueden beneficiarse de la producción de cianotoxinas de las cianobacterias, ya que la acumulación de microcistina en el mucílago hace que los macroinvertebrados disminuyan su consumo, reflejándose en la dominancia de colonias de *Cymbella* (diatomea) en algunos ríos calcáreos de España. La dominancia de una especie puede provocar una disminución de la población de macroinvertebrados, al disminuir la variabilidad del alimento. Por ejemplo, Julius (2007) documentó en ríos de Hawaii que las diatomeas bentónicas son la principal fuente de alimento para el pez *Sicyopterus stimpsoni* Gill, de tal manera que la estructura de la mandíbula de los peces adultos, está modificada para realizar el raspado de las comunidades de algas bentónicas (Julius et al., 2005) por lo que este pez sólo crece en ríos donde hay crecimientos delgados de diatomeas (Schoenfuss et al., 2004).

Efecto de los crecimientos algales en la velocidad de corriente, la estabilidad de sedimentos y disponibilidad de refugios. Los crecimientos algales bentónicos proporcionan estabilidad al sedimento y modifican los patrones hidrológicos de los ambientes lóticos (Grant et al., 1985; Dodds & Biggs, 2002; Sigee, 2005), lo que genera cambios en los ciclos de los nutrientes (Mulholland et al., 1994). La velocidad de corriente en el fondo del río es afectada en diferentes magnitudes en función de la forma de crecimiento, la abundancia y la arquitectura de los crecimientos algales, lo cual puede conferir ventajas o desventajas para la comunidad acuática. Mulholland y colaboradores (1994) reportan que la velocidad de transporte de nutrientes río abajo es modificada por la formación de zonas de estancamiento temporal de agua (llamadas zonas de almacenamiento transitorios), resultado de la acumulación de las algas bentónicas y que la limitación de nutrientes es más intensa en los ríos con un mayor número zonas de almacenamiento. Esto provoca cambios en el contenido de nutrientes disueltos en el agua, afectando la disponibilidad de éstos aguas abajo y la calidad del alimento para los consumidores (Stelzer & Lamberti, 2001).

La formación de estromatolitos estabiliza al sustrato, brinda disponibilidad de hábitat y alimento para algunos macroinvertebrados y determina la distribución y estructura de la comunidad. Por ejemplo, Sabater y colaboradores (2000) señalaron que la fracción del río La Solana cubierta por estromatolitos, presentaba una menor abundancia de ramoneadores que la parte descubierta. Asimismo, Pitois y colaboradores (2003) reconocieron que el incremento de zonas cubiertas por estromatolitos en ríos de aguas carbonatadas de la cuenca del río Sena (Francia), provoca un decremento en la disponibilidad de hábitats, lo que conduce a una pérdida de la diversidad de la fauna y flora lo que repercute en la disponibilidad de presas para los salmones jóvenes.

Por otra parte la presencia de diatomeas, cianobacterias y clorofitas disminuye el movimiento de los sedimentos cuando la corriente se incrementa (Stevenson, 1996), lo que permite que la comunidad bentónica permanezca durante estos periodos, no sólo por la estabilidad de los sedimentos sino porque fungen como refugio para otros organismos. La comunidad de algas bentónicas es considerada como un hábitat importante para las comunidades de ambientes lóticos (Hargeby, 1990), por ejemplo los crecimientos de *Chara* (Chlorophyta) soportan gran diversidad y densidad de invertebrados en ríos donde el sustrato provee pocos hábitats. Casos similares son los de *Cladophora* (Chlorophyta) que soporta gran número de epífitas, pequeños invertebrados y meiofauna (Stevenson, 1996; Ramírez & Carmona, 2005) y *Sirodotia suecica* Kylin (Rhodophyta) ha sido reportada como hábitat de simúlidos y quironómidos (Sheath et al., 1996) y como refugio para los estados larvales finales de su ciclo de vida en ríos con alta velocidad de corriente (Carmona et al., 2009).

Relación de las algas de ambientes lóticos con los humanos. La degradación de los ambientes lóticos no sólo limita la disponibilidad de agua para el consumo humano, también afecta a los ciclos biogeoquímicos a nivel global, por lo que es conveniente evaluar integralmente la salud ecológica de estos sistemas y dejar a un lado la visión de sólo evaluar la "calidad del agua" en función del uso que se le desea dar. Tradicionalmente la valoración de los sistemas lóticos se ha realizado en base a las características fisicoquímicas, sin embargo en la actualidad varios países han complementado sus sistemas de evaluación mediante el uso de indicadores biológicos (Toro et al., 2003).

El uso de organismos indicadores tiene ventajas sustanciales sobre los análisis fisicoquímicos, ya que dan información del estado histórico del cuerpo de agua y no sólo del momento de la toma de la muestra (McCormick & Cairns, 1994; Lowe & Pan, 1996). Esto permite hacer un mejor manejo de los sistemas. La

comunidad algal bentónica y particularmente las diatomeas, son uno de los grupos más usados para realizar la evaluación biológica, ya que tienen una amplia distribución geográfica y responden rápidamente a los cambios ambientales (Lowe, 2011). Se han incorporado grupos algales que nos permiten comprender mejor los procesos de alteración de las aguas (Schneider & Lindstrøm 2011; Loza et al., 2014). Además, algunas poblaciones son capaces de detectar e incluso inmovilizar sustancias tóxicas como los metales pesados (Stevenson et al., 2010), cuya presencia se ha incrementado por las actividades industriales y agrícolas.

Tener un buen conocimiento de la comunidad algal bentónica de ambientes lóticos, nos permite mantener un sistema con alta biodiversidad que nos brinda servicios ecosistémicos como agua de calidad para uso y consumo humano, alimentos, regulación del clima, importante como referente en un escenario de cambio climático global (Whitehead et al., 2009), además de valores estéticos y culturales (Bellinger & Sigeo, 2010; Stevenson et al., 2010). Asimismo, podemos hacer uso directo de las algas como los que Garduño y colaboradores (2009) reportan en el empleo milenario de 10 algas de ambientes de agua dulce (lóticos y lénticos) en el Estado de México. Dentro de éstas *Prasiola mexicana* J. Agardh (Chlorophyta, alga macroscópica de ambientes lóticos con baja concentración de nutrientes y aguas templadas), se emplea en usos medicinales como cataplasmas para disminuir hemorragias y como infusión para tratar trastornos respiratorios. El uso biotecnológico de las algas de aguas epicontinentales, ha sido desarrollado principalmente en microalgas de ambientes lénticos –*Arthrospira maxima* Setchell & N.L. Gardner ha sido empleada en México y otros países para la alimentación desde hace décadas, actualmente se le emplea cada vez más, como fuente de pigmentos naturales, vitaminas, ácidos grasos y para la obtención de aditivos utilizados en fórmulas farmacéuticas y alimentos (Ramírez-Moreno & Olvera-Ramírez, 2006)– por lo que las algas de ambientes lóticos son un área subaprovechada y con gran potencial para la investigación en México.

La comunidad de algas bentónicas y en particular las biopelículas, constituyen una comunidad ecológicamente importante, ya que contribuyen en los procesos físicos, químicos y biológicos de los ríos a través de vínculos longitudinales de los procesos biogeoquímicos e hidrodinámicos locales (Battin et al., 2003). Por lo que su estudio es importante para hacer un buen manejo de los sistemas lóticos que son de gran importancia para la civilización humana, ya que son una fuente de agua potable y responsables del mantenimiento de buena parte de los ecosistemas terrestres.

Los estudios sobre ecofisiología de algas, ponen de manifiesto la necesidad de conocer la composición de especies y sus respuestas a nutrientes como nitrógeno y fósforo (Loza et al., 2014), como una base fundamental para el monitoreo de las aguas que posibiliten tomar medidas apropiadas y coordinadas para mantener y mejorar las condiciones de los ríos.

En conclusión, con lo expuesto anteriormente es claro que el estudio de las comunidades algales de ambientes lóticos es atractivo desde distintos enfoques. Desde la perspectiva ecológica es posible comprender el funcionamiento de los ecosistemas lóticos, mientras que desde el punto de vista ambiental su composición y estructura pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del agua y para evaluar procesos de contaminación que afectan a los ecosistemas. Además con un plan de manejo adecuado, una amplia variedad de recursos naturales pueden ser aprovechados para solventar demandas de alimentación, agua y nuevos materiales que requieren las poblaciones humanas, lo que tiene un impacto directo en la economía de las sociedades y en la salud de los ecosistemas.

## Observación de heterocistes

### INTRODUCCIÓN<sup>4</sup>

El Nitrógeno (N) es un elemento necesario en la composición de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares, siendo así una molécula esencial para el crecimiento de todos los organismos.

En la atmósfera el N ocupa aproximadamente el 80%, existiendo en la forma  $N \equiv N$ ; sin embargo, el  $N_2$ , debido al triple enlace entre los dos átomos de nitrógeno, que hace a la molécula casi inerte, no puede ser aprovechado por la mayoría de las formas vivientes, sino sólo por un pequeño grupo de microorganismos altamente especializados, que incluyen algas, bacterias y actinomicetes. Para ser utilizado en el crecimiento, este debe ser primero reducido y luego “fijado” (combinado) en la forma de iones amonio ( $NH^+$ ) o nitrato ( $NO^-$ ). El proceso a través del cual esos microorganismos reducen el nitrógeno hasta una forma utilizable es conocido como Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN por sus siglas en español). El proceso puede ser llevado a cabo por los microorganismos en vida libre o en simbiosis con plantas, y el mismo no sólo permite usar el nitrógeno atmosférico sino también revertir o reducir la degradación del suelo (Allan y Graham, 2002; Parsons, 2004).

La FBN es mediada por el complejo nitrogenasa, presente en los organismos fijadores, el cual cataliza la conversión del N a  $NH^+$  bajo la reacción general:  $N_2 + 10H^+ + 8e^- + nMgATP \rightarrow 2NH^+ + H_2 + nMgADP + nPi$  ( $n \geq 16$ ). Esta requiere de grandes cantidades de poder reductor y energía (ATP), y la reducción obligada de protones con un mínimo de 1 mol of  $H_2$  producido por mol de  $N_2$  reducido (Halbleib y Luden, 2000). La actividad del complejo enzimático puede ser mermada por el oxígeno, de tal manera que los organismos fijadores poseen mecanismos (e.j. alta tasa respiratoria, compartimentalizaciones o protección conformacional) que les permiten mantener bajas concentraciones de éste a fin de mantener la enzima funcionando (Ureta y Nordlund, 2002; Lee et al., 2004).

Entre los microorganismos involucrados en la FBN se encuentran: bacterias, algas verde-azules (cianobacterias) y actinomicetes, los cuales pueden fijar el nitrógeno viviendo libremente o formando asociaciones.

**Cianobacterias.** Las Cianobacterias tienen una amplia distribución y ocupan un gran rango de hábitats al igual que las bacterias, que incluyen suelo y agua, tanto de regiones tropicales y templadas como de climas extremos (Herrero et al., 2001), Presentan una gran diversidad morfológica, desde unicelulares hasta multicelulares filamentosas y con o sin la presencia de heterocistos. Stanier y Cohen-Bazire (1977), las describen como fotoautotróficas, fijadoras de  $CO_2$  a través del Ciclo de Calvin y carentes de 2-oxoglutarato deshidrogenasa. En las cianobacterias, el amonio es incorporado en esqueletos carbonados (2-oxoglutarato) a través del ciclo de la glutamina sintetasa-glutamato sintasa para la biosíntesis de glutamato y compuestos nitrogenados derivados (Herrero et al., 2001).

---

<sup>4</sup> Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista UDO Agrícola*, 4(1), 1-20. Recuperado en Marzo, 2020 de: <http://intranet.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fijacion%20biologica%20del%20nitrogeno.pdf>

Los heterocistos (Fig. 1) son células especializadas, distribuidas a lo largo o al final del filamento (cianobacterias multicelulares filamentosas), los cuales tienen conexiones intercelulares con las células vegetativas adyacentes, de tal manera que existe un continuo movimiento de los productos de la fijación de nitrógeno desde los heterocistos hacia las células vegetativas y de los productos fotosintéticos desde las células vegetativas hacia los heterocistos (Todar, 2004).

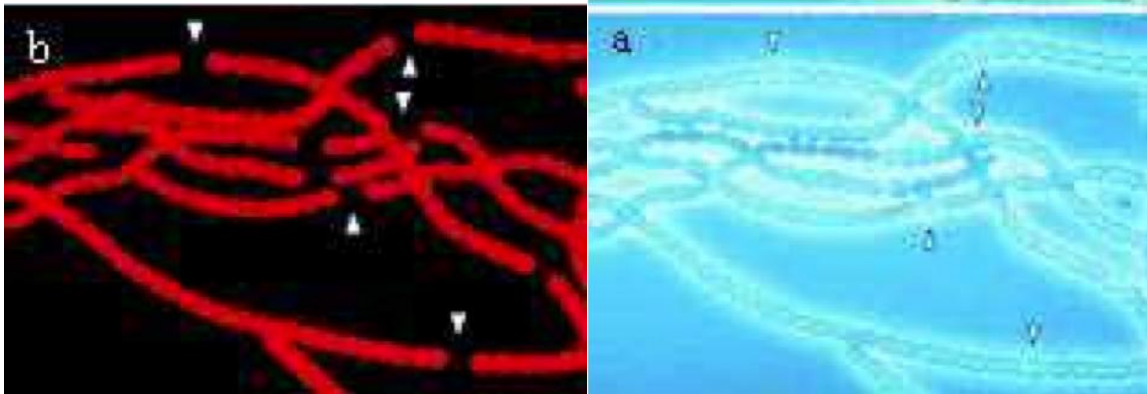


Figura 1.a. Imagen de contraste de fase de filamentos de *Nostoc punctiforme*, mostrando heterocistos (flechas). b. Imagen epifluorescente de los filamentos mostrados en la Figura a. (Meeks y Elhai, 2002).

Debido a la sensibilidad de la enzima nitrogenasa al oxígeno, las cianobacterias tienen como mecanismos de protección, la separación en espacio o en tiempo de los mecanismos fotosintéticos y de fijación de nitrógeno. Algunas algas filamentosas como *Nostoc* y *Anabaena*, tienen la nitrogenasa confinada a los heterocistos, los cuales carecen del fotosistema II liberador de oxígeno y rodeados de una pared glicolipídica gruesa que reduce la difusión de éste hacia las células, cualquier oxígeno que difunde hacia los heterocistos es rápidamente reducido por hidrógeno; así, la fijación de nitrógeno está espacialmente y metabólicamente separada del proceso fotosintético; las algas unicelulares (e.j. *Gloeocapsa*) y las filamentosas sin heterocistos (e.j. *Trichodesmium*), presentan los dos procesos separados en tiempo; de tal manera que la nitrogenasa sólo ocurre en el período de oscuridad. Sin embargo, algunas cianobacterias como mantienen la fijación de nitrógeno durante el período de luz, a expensas de una elevada tasa respiratoria, mecanismo similar al presentado por las bacterias aeróbicas (Capone et al., 1997; Herrero et al., 2001; Omoregie et al., 2004; Todar, 2004).

Los microorganismos fijadores de nitrógeno de vida libre, abarcan una gama morfológica que va desde los organismos unicelulares como las bacterias y algunas cianobacterias, hasta multicelulares como las cianobacterias filamentosas

Una característica común de los microorganismos involucrados en la FBN, es la presencia del sistema enzimático nitrogenasa, que les permite la reducción del nitrógeno molecular ( $N\equiv N$ ) atmosférico hasta la forma asimilable  $NH_4^+$ . Esta enzima puede funcionar a cabalidad en los microorganismos viviendo en forma libre o asociados. La actividad es susceptible a las concentraciones de oxígeno de la atmósfera circundante, de tal manera que los organismos, bien aislados o asociados han adoptado mecanismos que le permiten la protección de la actividad de la misma, mecanismos que incluyen: protección respiratoria, conformacional y la compartimentalización.

Bien sea de vida libre o asociados los organismos se benefician de la FBN, al poder utilizar el nitrógeno del aire como fuente del elemento, e incorporarlo en compuestos esenciales para su crecimiento y desarrollo.

### **Objetivo<sup>5</sup>**

- Observar heterocistes como estructuras fijadoras de nitrógeno en cianobacterias.

### **Material por equipo:**

- Muestras colectadas de cuerpos de agua estancada
- Microscopio electrónico
- Pipetas Pasteur
- Goteros con bulbo de goma
- Aceite de inmersión
- Papel seda
- 1 Caja de Petri

### **Proporcionado por el Profesor:**

- Lugol

### **Desarrollo**

Debido a que las especies de algas verde azules viven sobre otras algas, o sea son epifitas, o suspendidas en la columna de agua, para observarlas será necesario teñir con una gota de colorante (el que el profesor indique) antes de poner el cubreobjetos para facilitar la observación de estos microorganismos.

### **Resultados**

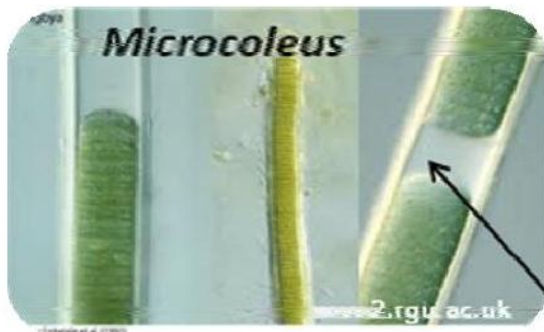
Elaborar esquemas de las algas resaltando los heterocistes encontrados e indicar el objetivo (10X, 40X, 100X) al que fueron hechas las observaciones.

### **Discusión**

Se sugiere discutir sobre la importancia de los heterocistes como estructuras de las algas que permiten la fijación de nitrógeno y su papel en los ciclos biogeoquímicos y el flujo de energía.

---

<sup>5</sup> Dreckmann, K. M., Senties, A. y Nuñez, M. L. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio*. Biología de Algas. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa: México. p. 24-25.



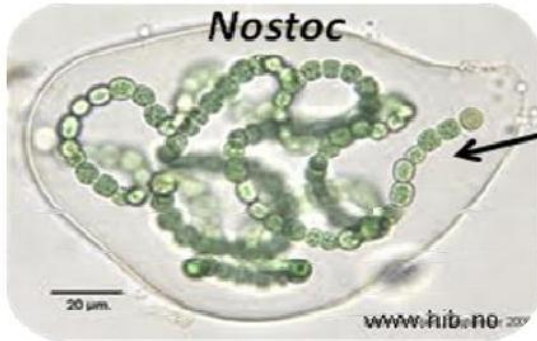
**Matriz gelatinosa**



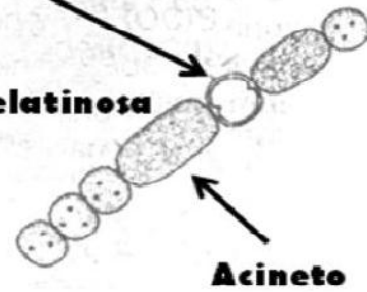
**Anabaena**



**Heterocisto**



**Matriz gelatinosa**

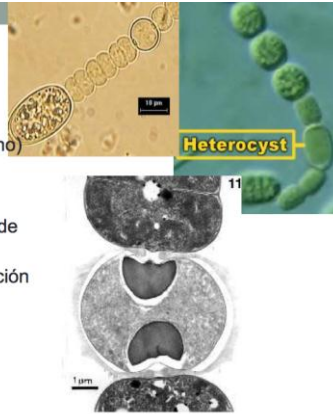


**Acineto**

**Anexo 5. Presentación: Heterocistes como estructuras fijadoras de nitrógeno.**

**Heterocistes**

- Fotosintéticamente inactivos (no fija carbono)
- Interior anóxico
- Fijación de nitrógeno
- Altas concentraciones de nitrógeno
- No se dividen / separación de filamentos
- Microplasmodesmos

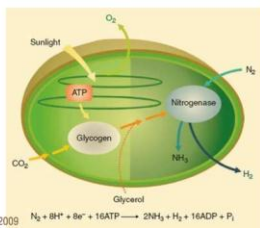


Van Der Hoek et al 1998; Lee, 2009

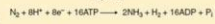
a)<sup>6</sup>

**Fijación de Nitrógeno**

- La enzima que realiza la fijación del nitrógeno es la nitrogenasa, que es inhibida por el oxígeno, con lo cual se hace incompatible con la fotosíntesis y, por tanto, en muchas cianobacterias los dos procesos se separan en el tiempo, realizándose la fotosíntesis durante las horas de luz y la fijación de nitrógeno solamente por la noche.

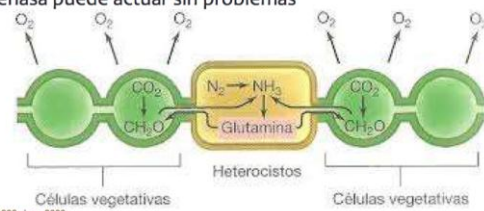


Van Der Hoek et al 1998; Lee, 2009



**Fijación de Nitrógeno**

- Algunas especies han solucionado el problema mediante los heterocistes, unas células más grandes y con una pared engrosada con celulosa y que se encargan de la fijación del nitrógeno; en los heterocistes no hay fotosistema II, de modo que no hay desprendimiento de oxígeno y la nitrogenasa puede actuar sin problemas



Van Der Hoek et al 1998; Lee, 2009

b)

**Las cianobacterias son importantes en el ciclo del nitrógeno en ambientes acuáticos**

Asimilación del N<sub>2</sub>:  $N_2 + NADPH + H^+ + ATP \rightarrow NH_4^+ + NADP + ADP + P_i$

Algunas bacterias poseen la habilidad de tomar el N<sub>2</sub> del aire, donde es el gas más abundante, y reducirlo a amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), una forma de nitrógeno que todas las células pueden aprovechar. Los autótrofos eucariotes no pueden fijar N<sub>2</sub> y tienen que tomar nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) o NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, que son sustancias escasas, del ambiente.

La enzima que realiza la fijación del nitrógeno es la **nitrogenasa**, que es inhibida por el oxígeno, con lo cual se hace incompatible con la fotosíntesis

Las cianobacterias son los únicos organismos fotosintéticos capaces de asimilar N<sub>2</sub> → IMPORTANCIA EN AMBIENTES ACUÁTICOS

Algunas cianobacterias son simbiotas de plantas acuáticas, como los helechos del género *Azolla*, a las que suministran nitrógeno fijado



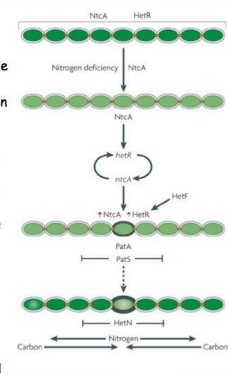
Introducción a la Botánica 2017 DBBE FCEYN - UBA,

c)

**Fijación de nitrógeno**

- La fijación de N<sub>2</sub> a NH<sub>4</sub><sup>+</sup> es esencial para la vida
- La realizan solamente las bacterias (de vida libre, simbiotas y cianobacterias)
- La nitrogenasa es muy sensible al O<sub>2</sub>, necesita ambiente anaeróbico, no puede convivir con fotosistema II
- En algunas cianobacterias ocurre en los **heterocistos** (sin fotosistema II, pared celular gruesa, anaerobiosis)

Los heterocistos son células especializadas en la fijación de N<sub>2</sub>. Poseen nitrogenasa y no poseen FSII. Su formación está controlada por genes que se expresan cuando hay baja concentración de nitrato o amonio en el ambiente. Están conectados con células vecinas por plasmodesmos, por los que reciben carbono fijado e intercambian el N



Introducción a la Botánica 2017 DBBE FCEYN - UBA, Nature Reviews | Microbiology

d)<sup>7</sup>

e)

<sup>6</sup> Imágenes a, b y c: Zepeda G. C. (2015). Algas y Briofitas. Algas verde azules. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de ciencias. México. Presentación PPT. Recuperado en julio, 2019 de:

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/32132/secme-18510.pdf?sequence=1>

<sup>7</sup> Imágenes d y e: Introducción a la Botánica. (2017). Algas 01. Introducción y generalidades Cyanobacteria. Acheaplantidia. Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires. Recuperado en julio, 2019 de:

<http://www.dbbe.fcen.uba.ar/contenido/objetos/Teoricaalgasbota769nica201901Introcyanocloro.pdf>



**Anexo 6.** Ejercicio: Actividad de aprendizaje.<sup>8</sup>

Nombre del estudiante: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_

Indicaciones: relaciona ambas columnas.

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| 1. Son los componentes bióticos de un ecosistema  | ( ) productividad primaria   |
| 2. Los rasgos físico-químicos de un ecosistema como el clima y la geología constituyen... | ( ) cadena trófica           |
| 3. El flujo de materia a través de todos los componentes de un ecosistema establece...    | ( ) productores              |
| 4. En este nivel trófico se incluye a los organismos autótrofos...                        | ( ) biotopo                  |
| 5. Los herbívoros constituyen el nivel trófico de los...                                  | ( ) ciclos biogeoquímicos    |
| 6. Es la cantidad de materia viva que produce un ecosistema por unidad de tiempo          | ( ) consumidores primarios   |
| 7. Los hongos y bacterias que reciclan sustancias se consideran...                        | ( ) biocenosis               |
| 8. Los carnívoros se incluyen en el nivel trófico de los...                               | ( ) descomponedores          |
| 9. Es una forma gráfica de representar relaciones tróficas                                | ( ) biomasa                  |
| 10. El equilibrio de un ecosistema se mantiene cuando continuamente existe...             | ( ) consumidores secundarios |
| 11. La cantidad de energía que un ecosistema fija por fotosíntesis se llama...            | ( ) pirámide de biomasa      |
| 12. Son las relaciones alimentarias que se dan entre los componentes del ecosistema       | ( ) flujo de materia         |

Indicaciones: Contesta la siguiente pregunta: ¿En qué situaciones de tu vida cotidiana ves reflejado el flujo de energía, los niveles tróficos y los ciclos biogeoquímicos)?

---

---

---

---

---

---

---

<sup>8</sup> Jiménez L. P. (Coord.) (2011). Biología. Enciclopedia de Conocimientos fundamentales. Universidad Nacional Autónoma de México. Siglo XXI. Vol. II. Versión digital.



# ESTRATEGIA DIDÁCTICA 13

## Concepto de biodiversidad. *Biodiversidad de algas.*



I.

### DATOS GENERALES

PROFESOR(A)	Elizabeth Karina Galván Sánchez
ASIGNATURA	Biología II
SEMESTRE ESCOLAR	Cuarto Semestre
PLANTEL	Colegio de Ciencias y Humanidades - Plantel Oriente
FECHA DE ELABORACIÓN	06 de febrero de 2020

### II. PROGRAMA

UNIDAD TEMÁTICA	Unidad 2. ¿Cómo interactúan los sistemas biológicos con su ambiente y su relación con la conservación de la biodiversidad?
PROPÓSITO(S) DE LA UNIDAD	<b>Propósito indicativo:</b> Al finalizar, el alumno: Describirá la estructura y funcionamiento del ecosistema, a partir de las interacciones que se presentan entre sus componentes, para que reflexione sobre el efecto que el desarrollo humano ha causado en la biodiversidad y las alternativas del manejo sustentable en la conservación biológica.
APRENDIZAJE(S)	<b>Aprendizajes indicativos:</b> Identifica el concepto de biodiversidad y su importancia para la conservación biológica. <b>Aprendizajes operativos:</b> 1. Identifica el concepto de biodiversidad. 2. Reconoce la importancia de la biodiversidad para la conservación biológica. 3. Se acerca a la biodiversidad en el caso de las algas.
TEMA(S)	Tema 2. Biodiversidad y conservación biológica ● Concepto de biodiversidad

### III. ESTRATEGIA

Es importante que el estudiante identifique el concepto de biodiversidad y su importancia para la conservación biológica. Para lo cual está destinada esta estrategia, donde además se acercará a la biodiversidad de las algas. Lo cual logrará por medio de actividades de investigación, mapas

conceptuales, collages, actividades de laboratorio y reflexión.

#### IV. SECUENCIA

<b>TIEMPO DIDÁCTICO</b>	5 horas presenciales y 3 horas previas extraclase
<b>DESARROLLO Y ACTIVIDADES</b>	<p><b>Actividades de inicio:</b></p> <p>Previas (3 horas)</p> <p>Los estudiantes realizan una investigación previa sobre la biodiversidad, la cual debe ir acompañada de una imagen y escrita en sus cuadernos.</p> <p>De apertura (1 hora)</p> <p>En equipos de 4 estudiantes deben leer los anexos 1 y 2 y localizar los conceptos de biodiversidad, elaboren un mapa conceptual con la información de las lecturas. Compartir sus resultados en un papel bond con el resto del grupo. De los tres conceptos localizados en la lectura 1 ubiquen con cual se relaciona más los conceptos reportados de su investigación previa. Lleven un registro cuantitativo y discutan en grupo (con la moderación del profesor) el porqué de los resultados.</p> <p><b>Actividades de desarrollo:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>De acuerdo a la lectura del anexo 4, los estudiantes deben llevar imágenes que ilustren la diversidad de algas de acuerdo al texto. Por equipos de 4 personas realizarán un collage sobre una cartulina. Una vez terminados, colocaran sus trabajos en espacios visibles dentro del salón de clases y rotaran en equipos para ver el collage de los demás equipos. Al finalizar, los estudiantes comentarán sobre las semejanzas y diferencias de los trabajos y la forma como representaron la diversidad de las algas.</p> <p>(2 horas)</p> <p>Los estudiantes se organizan por equipos de 4 a 6 personas para realizar la actividad de laboratorio del anexo 5. Deben ponerse de acuerdo para que las muestras de agua no se repitan y se tenga variedad de resultados.</p> <p><b>Actividades de cierre:</b></p> <p>(1 hora)</p> <p>Los estudiantes reflexionaran sobre las implicaciones en la biodiversidad, tomando como referencia los anexos 3 y 6, y escribirán en formato de carta una cuartilla de su reflexión. Al finalizar, colocarán su escrito en un sobre de carta blanco y la entregarán al profesor. Cuando todos hayan terminado se resolverán las cartas y tomarán una al azar. Cuando la lean subrayaran con color rojo los aspectos similares que también hayan tomado en cuenta y en</p>

	<p>azul los aspectos que no consideraron en su reflexión. De manera voluntaria y por medio de participaciones compartirán ante el grupo que les pareció su experiencia.</p>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>Estrategia diseñada para 24 a 30 estudiantes aproximadamente.</p> <p>Las actividades previas se trabajarán de manera individual.</p> <p>Las actividades en clase (de inicio y desarrollo) serán grupales y por equipos, según se describen en el desarrollo de las actividades.</p> <p>Los ejercicios de cierre serán individuales.</p>
<b>MATERIALES Y RECURSOS DE APOYO</b>	<p>Recursos bibliográficos o de internet. Cuadernos de trabajo individuales de los estudiantes. Aula-laboratorio de trabajo. Pizarrón y gises de colores o pintarrón y marcadores. Colores. Hoja blanca. Sobre de carta blanco. Papel bond. Tijeras. Pegamento. Cartulina. Marcadores.</p> <p>Anexo 1. Lectura: ¿Qué queremos decir cuando hablamos de Biodiversidad?.</p> <p>Anexo 2. Lectura: ¿Qué es la biodiversidad?.</p> <p>Anexo 3. Lectura: ¿Por qué conservar?.</p> <p>Anexo 4. Lectura: Las algas y la biodiversidad.</p> <p>Anexo 5. Actividad de laboratorio: Biodiversidad de algas.</p> <p>Anexo 6. Lectura: Mantos de rodolitos en el golfo de California: implicaciones en la biodiversidad y el manejo de la zona costera.</p>
<b>EVALUACIÓN</b>	<p>Se realizará una evaluación continua tomando en cuenta todas las actividades realizadas y que de acuerdo al programa de estudio son denominadas como diagnóstica, formativa y sumativa, con las que se juntaran puntos de la siguiente manera:</p> <p><b>Evaluación diagnóstica</b></p> <p>Actividad de inicio (previa): investigación bibliográfica individual.....1 punto</p> <p>Actividad de inicio (apertura): mapa conceptual en equipo.....1 punto</p> <p><b>Evaluación formativa</b></p> <p>Actividad de inicio (apertura): collage en equipo.....2 puntos</p> <p>Actividad de desarrollo: actividad de laboratorio en equipo.....3 puntos</p> <p><b>Evaluación sumativa</b></p> <p>Actividad de cierre: carta de reflexión individual.....3 puntos</p> <p>La calificación se tomará de acuerdo a la puntuación alcanzada.</p>

## V. REFERENCIAS DE APOYO

<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA LOS ALUMNOS.</b>	<p>Diéguez-Uribeondo, J. y García-Valdecasas, A. (2011). ¿Qué queremos decir cuando hablamos de Biodiversidad?. <i>Biodiversidad. El mosaico de la vida</i>. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. p. 20-28. Recuperado en Marzo, 2020 de: <a href="https://digital.csic.es/handle/10261/80452">https://digital.csic.es/handle/10261/80452</a></p>
---	--

	<p>Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. (2009). ¿Por qué conservar?. Recuperado en agosto, 2019 de:  <a href="https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque_conserva.html">https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque_conserva.html</a></p> <p>Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. (2009). ¿Por qué conservar?. Recuperado en agosto, 2019 de:  <a href="https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque_conserva.html">https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque_conserva.html</a></p> <p>Robledo, D. (1997). Las algas y la biodiversidad. <i>Biodiversitas</i>, 13, 1-4. Recuperado en Marzo, 2020 de:  <a href="https://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv13art1.pdf">https://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv13art1.pdf</a></p> <p>Riosmena-Rodríguez, R. (2001). Mantos de rodolitos en el golfo de California: implicaciones en la biodiversidad y el manejo de la zona costera. <i>Biodiversitas</i>, 36, 12-14. Recuperado en Marzo, 2020 de:  <a href="http://200.12.166.51/janium/Documentos/1427.pdf">http://200.12.166.51/janium/Documentos/1427.pdf</a></p>
<b>BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA PARA EL PROFESOR</b>	<p>Carmona, J. J., Hernández M. M. A., y Ramírez, V. M. (2004). <i>Algas. Glosario ilustrado</i>. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ciencias. México. Recuperado el 19 de julio, 2019 de:  <a href="http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/177709/2004%20Carmona%2C%20J.%20Libro%20-%20Glosario%20Algas.pdf?sequence=2">http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/177709/2004%20Carmona%2C%20J.%20Libro%20-%20Glosario%20Algas.pdf?sequence=2</a></p> <p>Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Tecnología. (2020). Protocolo A. Observación e identificación de microalgas y cianobacterias. Recuperado en Marzo, 2020 de: <a href="https://inbiotec-conicet.gob.ar/wp-content/uploads/2017/11/PROTOCOLO-A-Identificacion-de-algas.pdf">https://inbiotec-conicet.gob.ar/wp-content/uploads/2017/11/PROTOCOLO-A-Identificacion-de-algas.pdf</a></p>
<b>COMENTARIOS ADICIONALES</b>	<p>Es responsabilidad del docente conocer la bibliografía recomendada para los estudiantes.</p> <p>Se recomienda al profesor utilizar imágenes de los siguientes libros para ilustrar la diversidad de algas verdes, pardas y rojas.</p> <p>León Álvarez, D., Candelaria, S. C., Hernández, A. P. y León, T. H. (2012). Géneros de algas marinas tropicales de México: I Algas verdes. Las prensas de las ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM, México.</p> <p>León Álvarez, D. y Núñez Reséndiz, M. L. (2012). Géneros de algas marinas tropicales de México: II. Algas pardas. Las prensas de las ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México.</p> <p>León Álvarez, D., López, G. N. A., Ponce, M. M. E., Núñez, R. M. L., Candelaria, S. C., Cruz, R. A. y Rodríguez, V. D. (2017). Géneros de algas marinas tropicales de México: Algas rojas. Las prensas de las ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México.</p>

## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Lectura: ¿Qué queremos decir cuando hablamos de Biodiversidad?.

**Anexo 2.** Lectura: ¿Qué es la biodiversidad?.

**Anexo 3.** Lectura: ¿Por qué conservar?.

**Anexo 4.** Lectura: Las algas y la biodiversidad.

**Anexo 5.** Actividad de laboratorio: Biodiversidad de algas.

**Anexo 6.** Lectura: Mantos de rodolitos en el golfo de California: implicaciones en la biodiversidad y el manejo de la zona costera.

**Anexo 1.** Lectura: ¿Qué queremos decir cuando hablamos de Biodiversidad?.

## ¿Qué queremos decir cuando hablamos de Biodiversidad?<sup>1</sup>

Diéguez-Urbeondo y García-Valdecasas (2011)

El término Biodiversidad es un neologismo empleado por primera vez por E. O. Wilson como sinónimo de diversidad biológica con ocasión de la celebración del primer foro sobre diversidad biológica organizado por el National Research Council of America (NRC) en 1986. Varias personas del NCR se lo sugirieron a Wilson porque pensaban que la palabra Biodiversidad tendría mayor poder comunicativo que el de diversidad biológica. Así, Wilson lo utilizó para referirse y alertar sobre la rápida extinción masiva de numerosas especies y ecosistemas, y no se podía imaginar la repercusión que este término tendría en pocos años. Desde entonces el uso de la palabra Biodiversidad se ha extendido rápidamente entre profesionales relacionados con la materia (biólogos, naturalistas, técnicos, administración), políticos y la opinión pública debido a la creciente preocupación sobre la extinción de especies en las últimas dos décadas del siglo XX. Tal es así, que a menudo se relaciona erróneamente biodiversidad con conservación, lo que añade aún más ambigüedad a este concepto (el término Biodiversidad no tiene una definición única y se utiliza de manera ambigua e imprecisa).

### Definición de biodiversidad

A continuación se presentan 3 definiciones de biodiversidad:

1. “Biodiversidad es la variedad de todos los tipos y formas de vida, desde los genes a las especies a través de una amplia escala de ecosistemas”. Esta definición es la que parece más sintética, clara y correcta. La recoge Gaston (1996), en su libro “Biodiversity: a biology of numbers and difference” y adoptada por la Stanford Encyclopaedia of Philosophy (<http://plato.stanford.edu/entries/biodiversity>). Este autor recoge varias definiciones del término Biodiversidad y describe esta definición como una sobre la cual se basan todas las demás.
2. “Biodiversidad es la variabilidad de organismos vivos de cualquier origen, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos, y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas”. Esta definición se puede considerar como la políticamente oficial dado que se recoge en el Convenio de Naciones Unidas sobre Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad Biológica (<http://www.eoearth.org/article/Biodiversity>), la Red de Gobiernos Locales (<http://www.redbio-diversidad.es>).
3. “La Biodiversidad es la totalidad de genes, especies y ecosistemas de una región determinada”. Definición que recogen varias organizaciones y que pretende sintetizar más aún las definiciones anteriores.

### Niveles de estudio

La Biodiversidad comprende 3 niveles principales de estudio y que están directamente relacionados:

1. El genético (que estudia la diversidad de genes dentro de y entre las especies, ya que hay una variabilidad genética entre especies e individuos de la misma especie).
2. El taxonómico (que trata sobre la diversidad de los distintos taxones: especies, géneros, etc.).
3. El ecológico (que investiga la variedad a un nivel superior de organización como son los ecosistemas).

---

<sup>1</sup> Diéguez-Urbeondo, J. y García-Valdecasas, A. (2011). ¿Qué queremos decir cuando hablamos de Biodiversidad?.

*Biodiversidad. El mosaico de la vida.* Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. p. 20-28. Recuperado en Marzo, 2020 de: <https://digital.csic.es/handle/10261/80452>

## Unidad de estudio

Para el estudio de la biodiversidad, como en toda investigación es necesaria una unidad. Según Wilson la biodiversidad real sería la diversidad genética y, por lo tanto, su unidad sería el gen, ya que éste representa la unidad de la selección natural, es decir, de la evolución. Sin embargo, averiguar la biodiversidad genética hoy en día es casi imposible, dado que los estudios moleculares son muy especializados, costosos, y su interpretación es una tarea a veces larga y complicada. Es por ello que no pueden ser llevados a cabo de manera rutinaria y práctica.

La unidad por excelencia, la más empleada por ser práctica y sencilla para determinar la biodiversidad es la especie. Tal es así, que a menudo se asocia biodiversidad con el número de especies en una región determinada. Sin embargo, la especie no se puede reconocer de igual manera en todos los seres vivos, y esto ha dado lugar a definiciones que no siempre explicitan los criterios operativos para su diagnóstico.

Especie morfológica: es un término antiguo, frecuentemente usado con ánimo despectivo, por parte de especialistas no taxónomos. El término hace referencia a que las características morfológicas son los datos que sirven para inferir que unos organismos son una especie diferente. Nada cuesta cambiar el término 'demodé' de morfología por el más 'posh' de fenotipos, y todo el mundo se queda contento. Con este tipo de caracteres han trabajado tradicionalmente conservadores de colecciones, taxónomos y la mayoría de los usuarios necesitados de identificaciones biológicas ya que, salvo en casos contados, no se cuenta con información adicional que permita hacer la inferencia de especies con otro conjunto de caracteres.

Especie biológica: viene a decir que son grupos de poblaciones naturales entrecruzables que están aislados reproductivamente de otros grupos. Su principal defensor ha sido uno de los más notables biólogos evolutivos del siglo XX, el alemán Ernst Walter Mayr. Ha gozado de bastante popularidad aunque está siendo muy contestado en los últimos años. Muchas veces se carece de suficiente evidencia biológica para saber si dos poblaciones están aisladas reproductivamente. Aún más (y no es el único de sus problemas) especies claramente diferenciadas fenotípica y evolutivamente pueden producir híbridos fértiles en segundas y terceras generaciones.

Especie genética: surge como intento de superar algunas dificultades inherentes a la explicación del concepto especie biológica y emplea las diferencias o distancia genética entre poblaciones o grupo de poblaciones para distinguir las especies. Desgraciadamente no hay un "standard" que nos diga que a partir de la distancia 'x' ya estamos ante una especie diferente.

Especie evolutiva: es un linaje (una secuencia de poblaciones ancestro-descendiente) que evoluciona separadamente de otras, con sus propias tendencias y rol evolutivo unitario. El autor de esta propuesta fue el paleontólogo americano George Gaylord Simpson (1950), uno de los divulgadores de la teoría sintética de la evolución, y el concepto ha sido modernizado por el biólogo americano Edward O. Wiley (1978). Con esta formulación se pretendía obviar los inconvenientes de las especies biológicas en materia de hibridación interespecífica, muy frecuente en plantas. El problema es identificar linajes y delimitar tendencias y roles (asunto nada fácil, por cierto).

Especie ecológica: es un linaje, o un conjunto de linajes cercanamente relacionados, que ocupa una zona adaptativa mínimamente diferente en su distribución de aquellas pertenecientes a otros linajes, y que además se desarrolla independientemente de todos los linajes establecidos fuera de su área biogeográfica de distribución. Este concepto fue propuesto por el paleontólogo norteamericano, Leigh Van Valen (1976) como una modificación del concepto de especie evolutiva.

### ¿Dónde hay mayor biodiversidad? Los “hot-spots” en ecosistemas terrestres

La biodiversidad está distribuida irregularmente alrededor de la tierra. La mayor biodiversidad se encuentra en los llamados ‘hot-spots’ (puntos calientes) donde la evolución ha tenido lugar sin impedimento de barreras físicas y cataclismos como las glaciaciones, actividad volcánica, etc. Un cierto grado de aislamiento favorece la evolución y aparición de nuevas especies y variedades. El investigador británico Norman Myers y sus colaboradores identificaron 25 regiones del mundo que contienen un número de especies inusualmente alto, las cuales han sido sometidas a un grado de destrucción del hábitat poco común, debido a la actividad del ser humano. Algunos “hot spots” están en islas como Madagascar o Galápagos, o continentes aislados como África, Sudamérica, Australia en todos los cuales ha existido un grado mayor de biodiversidad antes de la llegada del ser humano. Recientemente la organización Conservation International definió 34 ‘hot-spots’ terrestres - que representan el 2,3% de la superficie terrestre total. Estas áreas, aunque pequeñas en tamaño, representan las reservas de la diversidad más ricas y amenazadas de la vida en el planeta, y precisan de protección y actuaciones urgentes (Fig. 1).

Los criterios diagnósticos para determinar los “hot spot” son:

1. Número de especies endémicas (especies que no se encuentran en otro lugar)
2. Grado de amenaza (se mide en término de pérdida de hábitat)

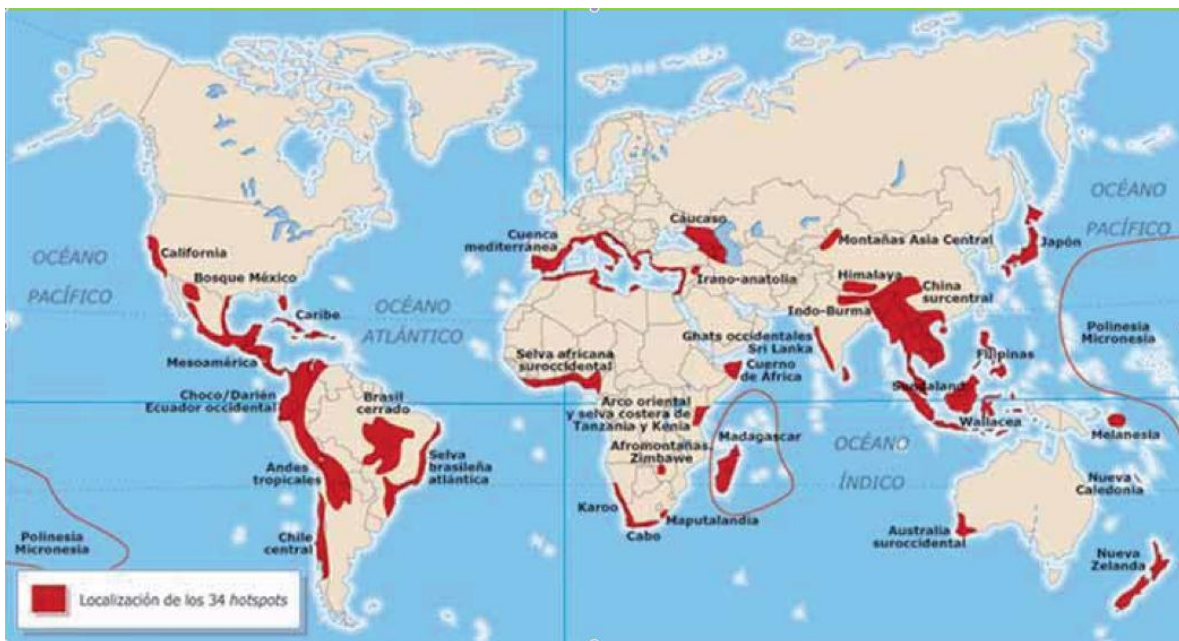


Figura 1. En el año 2005, 34 ‘hot-spots’ terrestres - que cubrían el 2,3% de la superficie terrestre de la Tierra - fueron identificados por la organización Conservation International. En ellas se encuentra más del 50% de las especies de plantas del mundo y el 42% de las especies de vertebrados son endémicas de estas áreas. Lamentablemente estas áreas están amenazadas por la actividad humana.



## ¿Qué es la biodiversidad?<sup>2</sup>



### Biodiversidad Mexicana

"La naturaleza tiene la clave a nuestras satisfacciones estéticas, intelectuales, cognitivas y aún espirituales"

Edward O. Wilson

► Inicio > Biodiversidad > Conceptos > ¿Qué es la biodiversidad?

#### ¿Qué es la biodiversidad?

La biodiversidad o diversidad biológica es la variedad de la vida. Este reciente concepto incluye varios niveles de la organización biológica. Abarca a la diversidad de **especies** de plantas y animales que viven en un sitio, a su **variabilidad genética**, a los **ecosistemas** de los cuales forman parte estas especies y a los **paisajes o regiones** en donde se ubican los ecosistemas. También incluye los procesos ecológicos y evolutivos que se dan a nivel de genes, especies, ecosistemas y paisajes.

multitud de razas de maíces, frijoles, calabazas, chiles, caballos, vacas, borregos y de muchas otras especies. Las variedades de especies domésticas, los procesos empleados para crearlas y las tradiciones orales que las mantienen son parte de la **biodiversidad cultural**.

En cada uno de los niveles, desde genes hasta paisaje o región, podemos reconocer tres atributos: composición, estructura y función.



El concepto fue acuñado en 1985, en el Foro Nacional sobre la Diversidad Biológica de Estados Unidos. Edward O. Wilson (1929 - ), entomólogo de la Universidad de Harvard y prolífico escritor sobre el tema de conservación, quien tituló la publicación de los resultados del foro en 1988 como "Biodiversidad".

Los seres humanos hemos aprovechado la variabilidad genética y "domesticado" por medio de la selección artificial a varias especies; al hacerlo hemos creado una

La **composición** es la identidad y variedad de los elementos (incluye qué especies están presentes y cuántas hay), la **estructura** es la organización física o el patrón del sistema (incluye abundancia relativa de las especies, abundancia relativa de los ecosistemas, grado de conectividad, etc.) y la **función** son los procesos ecológicos y evolutivos (incluye a la depredación, competencia, parasitismo, dispersión, polinización, simbiosis, ciclo de nutrientes, perturbaciones naturales, etc.)

URL: [http://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/que\\_es.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/que_es.html)

Contacto: [biodiversidad@conabio.gob.mx](mailto:biodiversidad@conabio.gob.mx) | México 2009

<sup>2</sup> Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. (2009). ¿Qué es la biodiversidad?. Recuperado en agosto, 2019 de: [https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/que\\_es.html](https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/que_es.html)

## Biodiversidad Mexicana<sup>3</sup>



### Biodiversidad Mexicana

"La naturaleza tiene la clave a nuestras satisfacciones estéticas, intelectuales, cognitivas y aún espirituales"

Edward O. Wilson

Inicio > Biodiversidad > Conocimiento y uso > ¿Por qué conservar?

#### ¿Por qué conservar?

Existen muchas razones para conservar nuestra riqueza natural.



**Económica.** Cuando el capital natural se deteriora perdemos valor y opciones. El capital natural es el stock de ecosistemas naturales que proporciona un flujo de valiosos bienes y servicios del ecosistema hacia el futuro. Por mucho tiempo hemos disfrutado gratis de los productos de la naturaleza, ahora conocidos como "servicios ambientales", como el oxígeno, el agua limpia, el suelo fértil, la polinización de flores que resulta en la producción de frutos, entre otros muchos. Sin embargo, no les hemos dado el valor necesario, hasta ahora que empiezan a ser escasos. En el lenguaje de los economistas, hemos externalizado los costos.



**Ética.** Ésta es una razón tan importante o más que la primera. Todas las especies tienen derecho a permanecer en el planeta. La gran mayoría estaban aquí antes que el ser humano. De hecho, nosotros somos los únicos que

tenemos la capacidad de darnos cuenta del estado del planeta, de los ecosistemas y de las especies y tenemos la responsabilidad de asegurar su existencia.

**Ecológica.** La conservación mantiene las funciones ecológicas de los ecosistemas. El llamado "desequilibrio ecológico" es la afectación de las relaciones funcionales entre las especies de un ecosistema.

**Estética.** Una gran cantidad de especies enriquecen nuestra vida con sus formas, texturas, colores, olores, comportamientos. Los bosques, selvas, estuarios y ríos, en buen estado de conservación, proporcionan satisfacción a nuestra necesidad de belleza.

**Espiritual.** Para muchas civilizaciones y personas, las plantas y animales y los fenómenos naturales tienen significado religioso. El sol es el generador de vida en el planeta y transmite su energía a los organismos vivos. En las culturas mexicanas constantemente encontramos que los fenómenos naturales, y los seres vivos forman parte integral de la cosmovisión.

En 1995 se fundó la Alianza de Religiones y Conservación un grupo secular que apoya a las religiones del mundo a desarrollar sus programas ambientales.



**Científica.** La naturaleza es una biblioteca que hemos ido descifrando a través de los siglos. El entendimiento científico nos ha proporcionado innumerables beneficios que van desde productos medicinales hasta una visión holística del lugar del hombre en la naturaleza.

URL: [http://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque\\_conserva.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque_conserva.html)

Contacto: [biodiversidad@conabio.gob.mx](mailto:biodiversidad@conabio.gob.mx) | México 2009

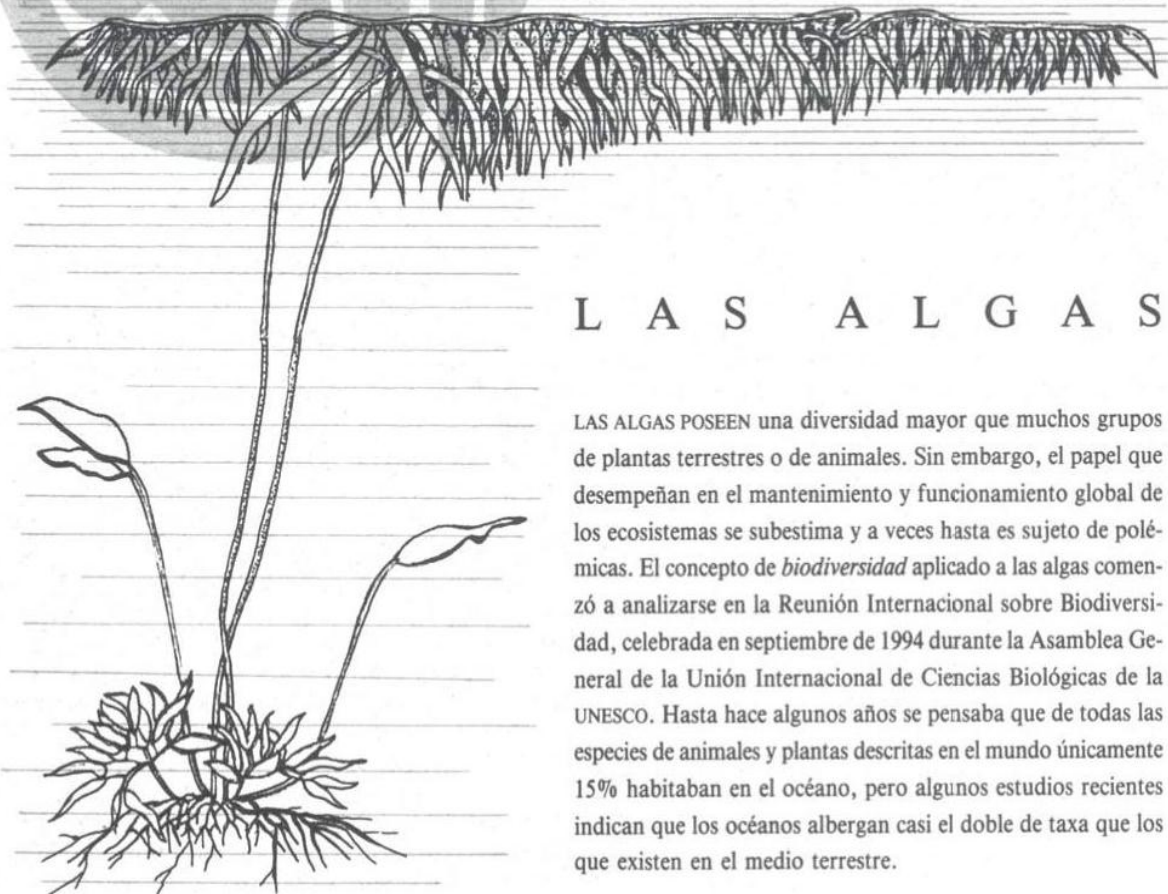
<sup>3</sup> Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. (2009). ¿Por qué conservar?. Recuperado en agosto, 2019 de: [https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque\\_conserva.html](https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque_conserva.html)

## Las algas y la biodiversidad <sup>4</sup>

AÑO 3 NÚM 13 JUNIO DE 1997

# BioDIVERSITAS

BOLETÍN BIMESTRAL DE LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD



## L A S A L G A S

LAS ALGAS POSEEN una diversidad mayor que muchos grupos de plantas terrestres o de animales. Sin embargo, el papel que desempeñan en el mantenimiento y funcionamiento global de los ecosistemas se subestima y a veces hasta es sujeto de polémicas. El concepto de *biodiversidad* aplicado a las algas comenzó a analizarse en la Reunión Internacional sobre Biodiversidad, celebrada en septiembre de 1994 durante la Asamblea General de la Unión Internacional de Ciencias Biológicas de la UNESCO. Hasta hace algunos años se pensaba que de todas las especies de animales y plantas descritas en el mundo únicamente 15% habitaban en el océano, pero algunos estudios recientes indican que los océanos albergan casi el doble de taxa que los que existen en el medio terrestre.

<sup>4</sup> Robledo, D. (1997). Las algas y la biodiversidad. *Biodiversita*, 13, 1-4. Recuperado en Marzo, 2020 de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv13art1.pdf>

# LAS ALGAS Y LA BIODIVERSIDAD



Cultivo de algas en aguas someras de Tanzania, con características similares a las de la costa de la península de Yucatán.

Foto de M. Pedersen

Se cree que la edad geológica de las algas verdeazules es de poco más o menos 3 550 millones de años, a diferencia de los 400 millones de años que tienen las plantas terrestres. Además de que conviene recordar que fue el oxígeno generado por la fotosíntesis de las algas verdeazules, y posteriormente por las algas eucariotas, más desarrolladas, el que formó nuestra atmósfera. Actualmente, las algas realizan cerca de 50% de la fotosíntesis del planeta, lo que las ubica en una posición crucial para el mantenimiento de la vida en la Tierra.

Este grupo tan heterogéneo de organismos se divide a su vez en más de una docena de grupos, división basada principalmente en su composición pigmentaria, sus

materiales de reserva y una gran variedad de detalles estructurales. Su diversidad se cifra no sólo en su forma de crecimiento o de alimentación y en su dependencia o no de la luz solar, sino hasta en sus diferencias estructurales, ya que existen tanto algas microscópicas unicelulares como algas filamentosas o laminares, además de complejas estructuras multicelulares como las de las algas pardas, que pueden llegar a medir más de 20 metros de longitud.

La diversidad de las algas también está dada por su bioquímica y fisiología, así como por la organización de su material genético, que se refleja tanto en las algas verdeazules, llamadas procariontas, que son más simples y están relacionadas con las bacte-

rias, como en el resto de las especies de algas, llamadas eucariotas. Esta diversidad genética y fenotípica se manifiesta más claramente en su diversidad ecológica, que es la que determina su distribución en la biósfera, ya que existen especies dulceacuícolas, marinas y de ambientes intermedios, como lagunas costeras, o extremos como los hielos polares, incluyendo las asociaciones con otros organismos, como en el caso de los líquenes.

Quizás sea una combinación de esta variabilidad genética lo que las hace metabólicamente diversas, pues producen gran cantidad de compuestos bioquímicos, pigmentos y compuestos bioactivos que resultan a veces útiles para el hombre, como los ácidos grasos poliinsaturados del tipo omega-3. También pueden contener compuestos bioactivos tóxicos, como el ácido okadaico que produce envenenamiento en el hombre.

A la pregunta de cuántas especies de algas existen, parece no haber todavía respuesta, ya que este grupo de organismos está virtualmente inexplorado. De acuerdo con un análisis reciente, las cerca de 36 000 especies de algas conocidas apenas representan 17% de las especies que existen actualmente, lo que indica que el

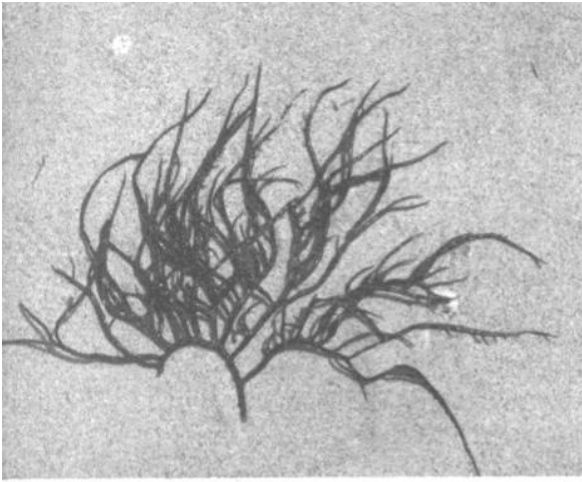
número total de especies de algas que existen en el mundo debe superar las 200 000. El conocimiento taxonómico de estos organismos en los distintos biotopos del planeta dependerá del esfuerzo individual o colectivo que se realice en cada país, y a pesar de que la comunidad ficológica es pequeña si se compara con las de otras disciplinas, se están identificando nuevas especies de algas a razón de una por semana. No obstante, existen problemas para clasificar algunas algas que podrían ser resueltos en el futuro, en el caso de las algas microscópicas, con ayuda de las nuevas técnicas moleculares, junto con el uso tradicional de la microscopía electrónica y en el caso de las algas macroscópicas mediante cultivos de laboratorio y los trasplantes al mar de éstas para establecer los límites de su plasticidad fenotípica.

Son muchas las razones por las que nos interesen las algas, ya que además de su papel fundamental en la producción del oxígeno atmosférico y su influencia en procesos globales como el cambio climático, todavía en debate, las algas son importantísimas en la fijación del bióxido de carbono del planeta mediante la fotosíntesis que se realiza en los océanos. En escala regional, su importan-

cia ecológica se hace evidente cuando el exceso de nutrientes en cuerpos de agua costeros o continentales generan *blooms* de algas, es decir una reproducción simultánea y abundantísima de estos organismos. Por otra parte, conviene señalar que los tan apreciados arrecifes coralinos están compuestos por una gran cantidad de algas —hasta tres cuartas partes del tejido de un coral vivo son algas—, y que mucha de la productividad primaria generada por estos corales se debe a las algas, mientras que en las regiones costeras las macroalgas son un componente ecológico vital para el desarrollo de comunidades de invertebrados al servirles de refugio y alimento, y cuya repercusión se observa en las pesquerías de otros organismos marinos como peces y moluscos.

El hombre también utiliza directamente las algas, y sus formas de obtención son tan diferentes como diversas son las especies que utiliza y que van desde la cosecha de mantos de macroalgas y su empleo con un mínimo de procesamiento, hasta el cultivo intensivo de microalgas en sistemas sumamente complejos. El principal uso de las algas es su consumo directo por el hombre, con un valor estimado en \$3 mil millones de dólares y que representa un volu-

men de 40 000 toneladas por año. En particular, la cosecha de *Porphyra* (*nori*, en japonés), alga con la que se prepara el *sushi* en Japón, está valorada en más de 1 000 millones de dólares, lo que hace de su pesquería costera la más rentable del mundo. Por otro lado, los extractos de algunas especies de algas rojas y pardas que se utilizan en la industria como emulsificantes y estabilizantes (alginatos, agar y carragenanos) están valorados en 500 millones de dólares anuales. Cabe señalar que la biomasa algal para la extracción de estos compuestos se obtiene de la cosecha de mantos naturales como el de *Macrocystis*, o de cultivos en el mar como los de *Gracilaria*. En nuestro país, los ingresos por concepto de exportación de algas marinas para la industria de extractos de algas fueron unos 28 millones de dólares en el año de 1995. Aunque en el caso de las microalgas no se han alcanzado los niveles de explotación a que están sujetas las macroalgas, *Dunaliella*, *Chlorella* y *Spirulina* se emplean cada vez más como fuente de pigmentos naturales, vitaminas y ácidos grasos, además de otras especies que sirven para la alimentación de moluscos y larvas de peces, para lo cual también se cultivan en gran escala.



*Gracilaria cornea*.  
Las algas de una  
misma especie  
adquieren diferentes  
formas.

ABAJO:  
Acadian Sea Plant Ltd.,  
la primera compañía  
de cultivo de algas en  
Canadá.  
Tomado de: World  
Aquaculture

Se puede decir que el desarrollo de estos productos derivados de algas está en sus inicios y que a su vez depende del desarrollo de sistemas de producción mediante el cultivo para abastecer este creciente mercado; tan es así, que recientemente el Instituto de Investigaciones sobre Genética de Plantas, que hace el inventario de las cosechas mundiales de plantas, ha reconocido que no todas las especies de plantas cosechables crecen en tierra firme.

En México existen alrededor de 843 especies de macroalgas marinas y son las algas rojas o rodofitas las que tienen el mayor número de especies, sobre todo en el océano Pacífico. Su gran abundancia en este litoral del país depende, además de las características costeras y oceanográficas, de un mayor esfuerzo de investigación regional, mientras que la carencia de estudios en el golfo de México ha llevado a subestimar la abundancia de las macroalgas que se establecen en esas costas. El investigador norteamericano Michael Wynne informa haber hallado 1 058 especies tan solo en el Caribe, lo que significa que este mar alberga más de 80% del total de la flora del Atlántico tropical y subtropical.

El estudio de los recursos algales según sus diferentes niveles de complejidad, desde los listados florísticos hasta los modelos que explican su abundancia y distribución, son muy escasos, y por ende necesarios, y deben considerarse como información estratégica para cualquier país que los posea. En México las investigaciones en este campo se encuentran en una fase de diversificación en la que se están produciendo trabajos ficológicos en otros campos además del taxonómico. No obstante, la catalogación de las

especies de algas es indispensable, pues el conocimiento de su biología resulta fundamental tanto para la ciencia básica como para la ecología, y es indispensable cuando se trata de desarrollar el plan de manejo y explotación de tan peculiar recurso.

#### Bibliografía

- Jensen, A., "Present and future needs for algae and algal products", en *Hydrobiologia*, 260/261: 15-23, 1993.
- Norton, T., M. Melkonian y R.A. Andersen, "Algal biodiversity", en *Phycologia* 35(4): 308-326, 1996.
- Radmer, R.J. y B.C. Parker, "Commercial opportunities of algae: opportunities and constraints" en *Journal of Applied Phycology* 6: 93-98, 1994.
- Robledo, R.D., "Seaweed resources of Mexico", en *Seaweed Resources of the World* (A. Critchley y M. Ohno, eds.). Japan International Cooperation Agency (JICA), Japón, 1997.
- Sepkoski, J.J., "Large scale history of biodiversity", en *Global Biodiversity Assessment*. United Nations Environmental Program, Cambridge University Press, 1995.
- Wynne, M., "A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical western Atlantic" en *Canadian Journal of Botany* 64: 2239-2281, 1993.

**Anexo 5.** Actividad de laboratorio: Midiendo la biodiversidad de algas en una gota de agua.

## Midiendo la biodiversidad de algas en una gota de agua <sup>5</sup>

### Introducción

Las algas como grupo poseen características homogéneas en términos morfológicos, fisiológicos y ecológicos; esto nos permite encontrar en un mismo lugar gran variedad de estos organismos. Pero el que se parezcan no quiere decir que están emparentadas (Carmona et al., 2004).

#### Diversidad

Es la variedad de organismos que forman una comunidad. La diversidad tiene dos componentes: riqueza de especies y abundancia.

##### Riqueza de especies

Se refiere al número de especies que conforman una comunidad, también se denomina riqueza específica.

##### Dominancia y rareza

La dominancia es la proporción de especies que son muy abundantes en la comunidad. Por otro lado, la rareza se refiere a la proporción de especies en una comunidad que son escasas. Las especies raras son muy importantes porque suelen ser la causa de una fracción considerable de la riqueza total de una comunidad.

### Objetivos

- Determinar la diversidad y dominancia de algas en 100ml de agua dulce

### Material por equipo:

- Muestras colectadas de cuerpos de agua estancada
- Microscopio compuesto
- Pipetas Pasteur
- Goteros con bulbo de goma

### Proporcionado por el Profesor:

- Lugol

### Desarrollo

Se debe tener muestras de cuerpos de agua diferentes, por ejemplo agua estancada de lluvia, de pecera, de canal, de florero, etc. Cada equipo trabajará solo con un tipo de muestra. Tomar una gota de agua y colocarla sobre el portaobjetos, cubrir con el cubreobjetos y observar en el microscopio óptico a 10x y 40x. Buscar en todos los campos, se recomienda iniciar de derecha a izquierda y de arriba hacia abajo de área.

De acuerdo a Carmona et al. (2004), para el posterior estudio del material colectado es necesario conservar las algas con el mínimo grado de alteración posible. Para esto se pueden utilizar las siguientes sustancias conservadoras:

---

<sup>5</sup> Carmona, J. J., Hernández M. M. A., y Ramírez, V. M. (2004). *Algas. Glosario ilustrado*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ciencias. México. Recuperado el 19 de julio, 2019 de: <http://repositorio.fciencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/177709/2004%20Carmona%2C%20J.%20Libro%20-%20Glosario%20Algas.pdf?sequence=2>

<b>FORMALINA AGUA DULCE AL 3%</b>
Formalina: 30 ml Agua de la localidad (de preferencia) o agua corriente (de la llave): 970 ml

**Solución Carnoy:** etanol y ácido acético glacial 3:1

<b>GLUTERALDEHIDO AL 3%</b>
Gluteraldehído: 30 ml Agua de la localidad (de preferencia) o agua corriente (de la llave): 970 ml

### Resultados

Se debe tomar una fotografía cada que se encuentre un ejemplar para verificar su identificación. Si se prefiere se pueden elaborar esquemas (dibujos) de las especies encontradas. No es necesario reconocer el nombre científico de la especie, pero sí hay que ubicar el tipo de ejemplar, para colocar los datos correctos en la tabla 1, donde se reportan los resultados.

Tabla 1. Diversidad de algas.

No. de especie (nombre)	Imagen	No. de ejemplares
Ejemplo: sp. 1		Ejemplo: 7

Total de especies encontradas = Riqueza

Porcentaje de ejemplares por especie = Dominancia o Rareza

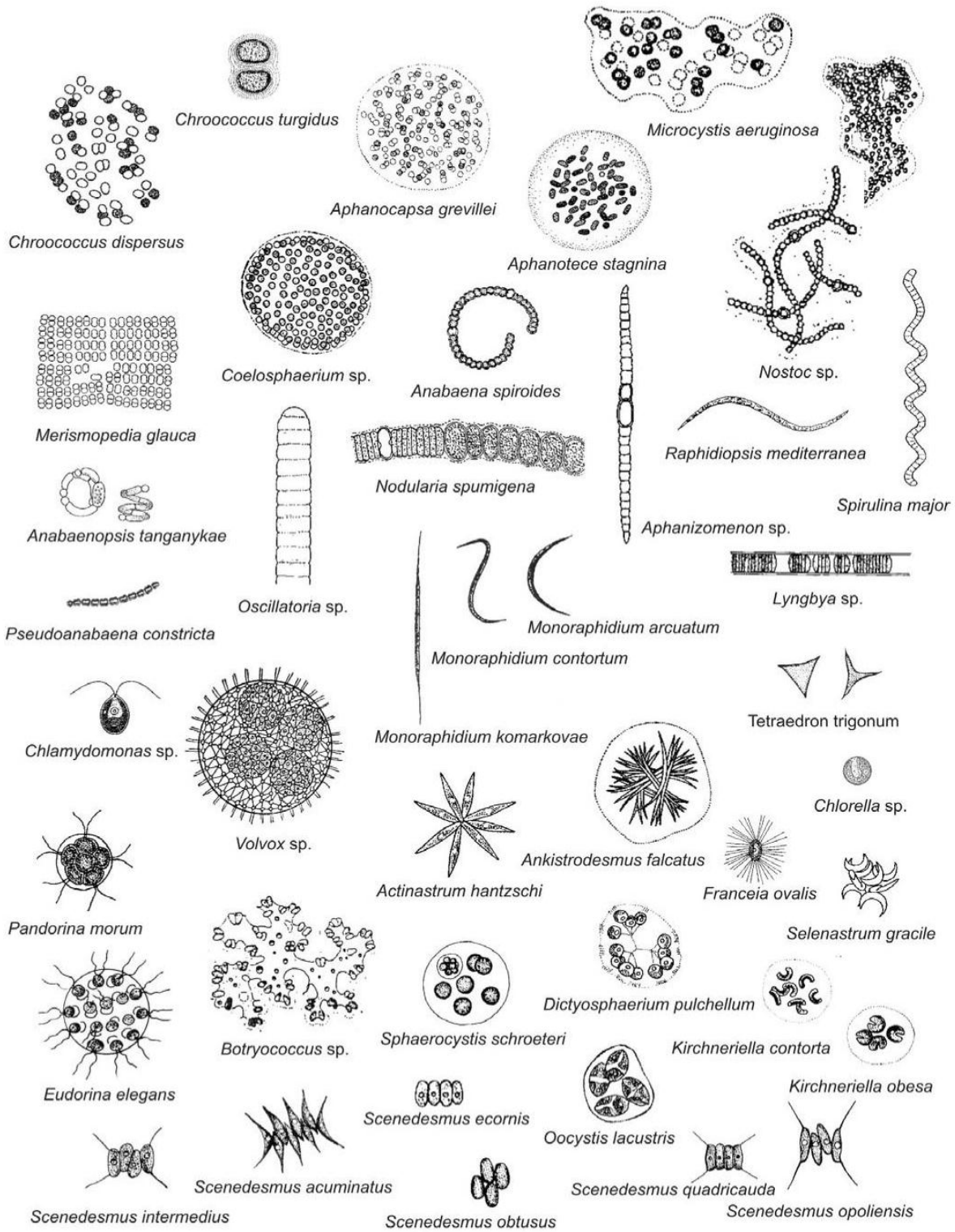
Nota: Se anexan los siguientes esquemas que pueden ayudar al manejo de los resultados.<sup>6</sup>

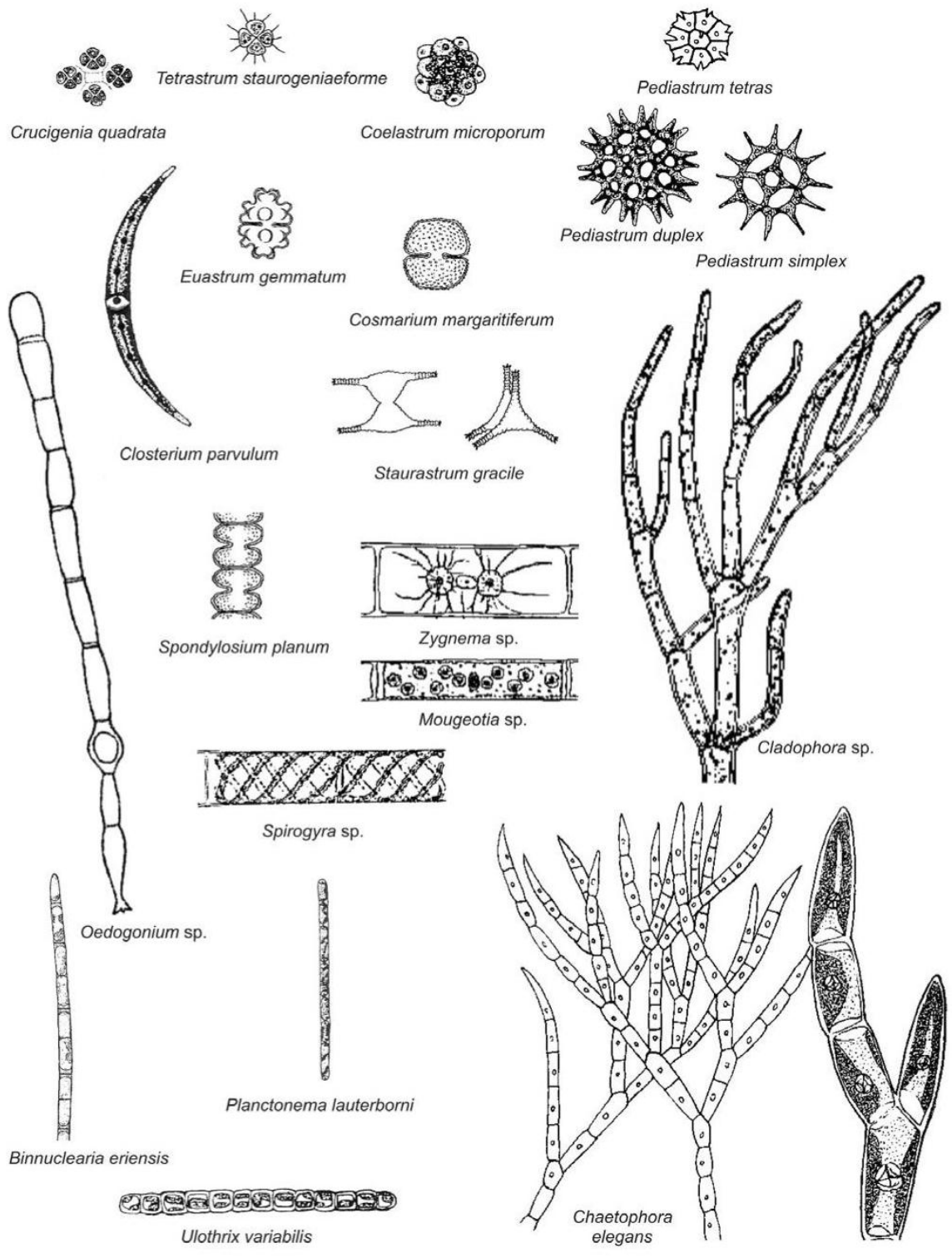
### Discusión

Al finalizar los equipos deben presentar sus resultados al resto del grupo para hacer una comparación de los datos obtenidos. Se recomienda formular hipótesis al respecto.

<sup>6</sup> Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Tecnología. (2020). Protocolo A. Observación e identificación de microalgas y cianobacterias. Recuperado en Marzo, 2020 de: <https://inbiotec-conicet.gob.ar/wp-content/uploads/2017/11/PROTOCOLO-A-Identificacion-de-algas.pdf>









*Colacium arbuscula*



*Strombomonas gibberosa*



*Strombomonas fluviatilis*

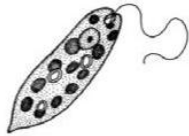
*Trachelomonas intermedia*



*Trachelomonas sp.*



*Euglena acus*



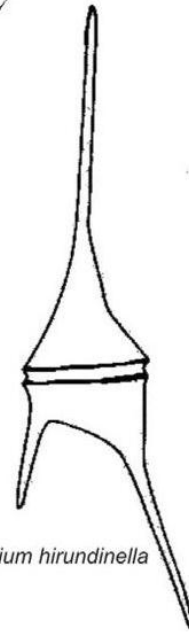
*Euglena sp.*



*Lepocinclis fusiformis*



*Gymnodinium sp.*



*Ceratium hirundinella*



*Gonyaulax sp.*



*Phacus longicauda*



*Glenodinium elpatiewskyi*



*Peridinium cinctum*



*Chromonas caudata*



*Cryptomonas erosa*



*Dinobryon sertularia*



*Rhodomonas ovalis*



*Mallomonas caudata*



*Synura uvella*

**Anexo 6. Lectura: Mantos de rodolitos en el golfo de California: implicaciones en la biodiversidad y el manejo de la zona costera.** <sup>7</sup>

RAFAEL RIOSMENA-RODRÍGUEZ\*

---

**MANTOS DE RODOLITOS  
EN EL GOLFO DE CALIFORNIA:  
IMPLICACIONES EN LA BIODIVERSIDAD  
Y EL MANEJO DE LA ZONA COSTERA**

**R**ODOLITOS se les ha denominado a todos aquellos individuos pertenecientes a las algas rojas calcáreas no geniculadas (orden Corallinales), que no están sujetas a un sustrato. En Europa la denominación que recibe es maerl, pudiéndose utilizar indistintamente. Se ha considerado que el origen de los rodolitos se da por el recubrimiento de un fragmento de concha, o de una roca, o por el asentamiento libre de esporas. Al crecer, estos individuos adquieren una forma cercana a la esférica en una gran mayoría de los casos, debido a procesos de bioturbación y oleaje. Los rodolitos pueden formar agregaciones muy densas (mantos) en la zona costera submareal, que puede variar en extensión desde unos cuantos metros a varios kilómetros. Debido a que recubren grandes extensiones de fondo y a que están en continuo crecimiento, estos organismos son productores natos de sedimento biogénico, el cual puede llegar a ser de gran importancia en los procesos sedimentarios costeros (Birkett *et al.* 1998; Marrack 1999; Halfar *et al.* 2000a). Estos mantos se presentan en una amplia gama de estratos geológicos desde el Paleoceno (hace 60 millones de años) hasta el Pleistoceno (hace 5 millones de años), siendo uno de los pocos registros continuos en yacimientos fósiles para macroalgas marinas

que pueden ser comparados en los cinco continentes.

Los mantos se encuentran ampliamente distribuidos en todos los océanos del mundo y su limitación vertical está en función de la profundidad; se ha determinado que son de las macroalgas que habitan a mayores profundidades, con un máximo de aprox. 285 m (Littler *et al.* 1991). Se considera que son refugios tanto de especies protegidas (por su baja densidad) como de especies conocidas (por su gran abundancia) y se les ha incluido por ello en la directiva europea de protección de hábitats (Birkett *et al.* 1998). Recientemente se ha demostrado que un individuo puede vivir hasta 100 años y que esto puede constituir un excelente registro climático potencial. Se ha probado que se pueden desarrollar técnicas geoquímicas para interpretar estos registros de manera continua y que pueden ser utilizados para interpretar variaciones climáticas tanto de organismos modernos como de organismos del registro fósil.

Tradicionalmente se han estudiado los mantos de rodolitos en Europa, donde se explotan comercialmente como fuente de fertilizante para terrenos agrícolas con alta acidificación. Adicionalmente, estos sitios se han reconocido por ser zonas donde la actividad pesquera es alta y la pesca de arrastre

se ha practicado con mayor continuidad (Birkett *et al.* 1998). A consecuencia de las actividades de extracción mineralógica y la pesca se ha requerido hacer valoraciones del impacto causado por la actividad humana sobre la biodiversidad asociada a estos fondos, y se ha encontrado que una intensa actividad produce el cambio del tipo de fondo de arenas hacia limos y el deterioro del ecosistema con la pérdida de su biodiversidad y de la productividad económica.

Los estudios sobre biodiversidad han determinado que existe una alta riqueza y abundancia de organismos asociados, principalmente macroalgas, invertebrados y peces. Los mantos de rodolitos constituyen un hábitat alternativo para especies tanto de hábitats rocosos como arenosos. En estos mantos se lleva a cabo el reclutamiento y desarrollo de especies de importancia ecológica. Asimismo, debido a su amplia distribución vertical (profundidad) y horizontal (geográfica), se puede encontrar una gran gama de especies asociadas, lo que ha llevado a considerar su valor como refugios espaciales.

Uno de los grandes problemas que existen para comenzar a proteger estas comunidades va desde el pobre conocimiento taxonómico de las especies que forman los mantos y su rango de variación morfológica

---

<sup>7</sup> Riosmena-Rodríguez, R. (2001). Mantos de rodolitos en el golfo de California: implicaciones en la biodiversidad y el manejo de la zona costera. *Biodiversitas*, 36, 12-14. Recuperado en Marzo, 2020 de: <http://200.12.166.51/janium/Documentos/1427.pdf>

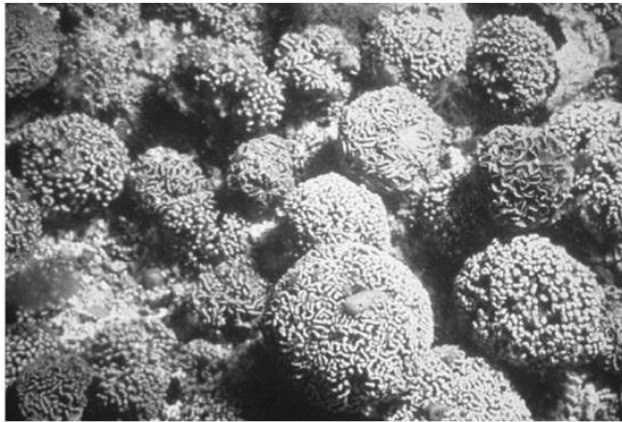


*Caulerpa* sp. y *Codium* sp.  
en un manto de rodolitos.

© R. Riosmena-Rodríguez

Manto de rodolitos.

© M.S. Foster



ca, hasta reconocer las dimensiones que éstos abarcan. El conocimiento de las especies comenzó desde hace varios siglos (en 1755 fue la primera descripción de un especie que forma rodolitos), y actualmente la taxonomía es muy pobre, debido a que se ha desarrollado a partir de colectas puntuales, utilizando principalmente métodos de dragado (Inglaterra, Mediterráneo y Brasil). Los esfuerzos de caracterización de estas comunidades se han resuelto en sitios muy particulares de manera parcial (Golfo de California y Australia), por lo que se requiere desarrollar el entendimiento de la composición específica de mantos y establecer la amplitud de este hábitat, debido a la influencia que tienen en la cartografía submarina y al

aporte de sedimento de origen biogénico.

En México, la CONABIO ha apoyado desde 1994 los esfuerzos por caracterizar los mantos de rodolitos en el Golfo de California, como parte de la biodiversidad de la región, por lo que se han hecho estudios taxonómicos de las especies que forman los mantos (Riosmena-Rodríguez *et al.* 1999). Esto ha dado la pauta para comprender que la especie *Lithophyllum margaritae* (Heydich) Hariot, es la dominante en la mayoría de los mantos del suroeste del Golfo y que la forma fructuosa es la más abundante (Yabur-Pacheco 1998). Además, se ha determinado que la forma y la densidad de las ramas cambia en función de la profundidad (Steller y

Foster 1995), lo que ha dado la pauta para caracterizar dos tipos de mantos: oleaje y corriente (Foster *et al.* 1997).

Ecológicamente se ha demostrado que este es un hábitat de los más ricos en la región, donde más de 500 especies se encuentran distribuidas entre los diferentes mantos estudiados. Sin embargo, el número total de especies es aún incierto debido a que se han estado encontrado nuevos taxa (géneros y especies) de quitones o extensiones de rango de una gran cantidad de taxa (Steller *et al.* 2001), por lo que el esfuerzo descriptivo no se puede considerar completo y se requiere conocer las variaciones batimétricas y geográficas con mayor detalle.

Una consecuencia de la presencia y dimensiones de estos mantos son las implicaciones de manejo en la zona costera, ya que en la mayoría de los estados que circundan el Golfo de California (principalmente en la zona occidental) no existe un aporte de sedimentos terrígenos constante por vía de ríos. Los mantos de rodolitos constituyen un sedimento natural muy importante debido a su extensión y cobertura. Además, este sedimento sirve como sustrato para la fijación y metamorfosis de moluscos de importancia económica, como las almejas catarina (*Argopecten ventricosus*

*Los mantos de rodolitos constituyen un sedimento natural muy importante que sirve como sustrato para la fijación y metamorfosis de moluscos de importancia económica.*



*Scinia* sp., un alga muy importante en los mantos de rodolitos.  
© S. Webster

Sowerby), voladora (*Pecten vogde-si* Arnold) y garra de león (*Lyropecten subnodosus* Sowerby), y el callo de hacha (*Pina rugosa* Sowerby). Por otra parte la arena acarreada es un sitio importante para el desove de peces como cochitos (*Balistes* sp.) y la epiflora sirve como fuente de protección para los juveniles de otros peces. Además es el hábitat y fuente de alimentación (directa o indirecta) para gasterópodos, como el caracol chino (*Murex* sp.), el erizo rosa (*Toxopneustes roseus*, James 2000) y el pepino de mar (*Isostychopus fuscus*), así como otras especies de valor comercial. Adicionalmente, se ha encontrado que son el hábitat de unas 12 o 15 especies de corales que forman poblaciones que se consideran expatriadas, y que son parte de entidades con una dinámica poblacional muy particular.

En México se han desarrollado

una gran cantidad de estudios encaminados a proteger especies o hábitats cruciales de la zona terrestre, pero en la zona marina se han hecho esfuerzos sólo para ambientes bentónicos clásicamente reconocidos (corales, mangles o pastos marinos). El hecho de que se tenga una comunidad como los mantos de rodolitos, que está ampliamente distribuida en el país y que existen ligas con la conservación y usos de recursos obliga a encaminar esfuerzos para el conocimiento de éstos.

\* Programa de Investigación en Botánica Marina.  
Departamento de Biología Marina, UABCS. La Paz, BCS

#### Bibliografía

Birkett, D.A., C. Maggs y M.J. Dring. 1998. *An overview of dynamics and sensitivity characteristics for conservation management of marine*

*SAC's*. Scottish Association for Marine Science. UK Marine SAC's Project, 116 p.

Foster, M.S., R. Riosmena-Rodríguez, D.L. Steller y Wm. J. Woelkerling. 1997. Living rhodolith beds in the Gulf of California and their implications for interpreting paleoenvironments, en: M. Johnson y J. Ledesma (eds.), *Pliocene carbonates and related facies flanked the Gulf of California*. *Geological Society of America Special Paper* 318: 127-140.

Franz, B.R., Kashgarian, K.H. Cole y M.S. Foster. 2000. Growth rate and potential climate record from a rhodolith using <sup>14</sup>C accelerator mass spectrometry. *Limnology and Oceanography* 45: 1773-1777.

Riosmena-Rodríguez, R., Wm.J. Woelkerling y M.S. Foster. 1999. A taxonomic reassessment of rhodolith-forming species of *Lithophyllum* species (Corallinales, Rhodophyta) in the Gulf of California, Mexico. *Phycologia* 37: 401-417.

Steller, D.L., R. Riosmena-Rodríguez, C. Roberts y M.S. Foster. 2001. *Aquatic conservation: Marine and freshwater ecosystems* (en prensa).