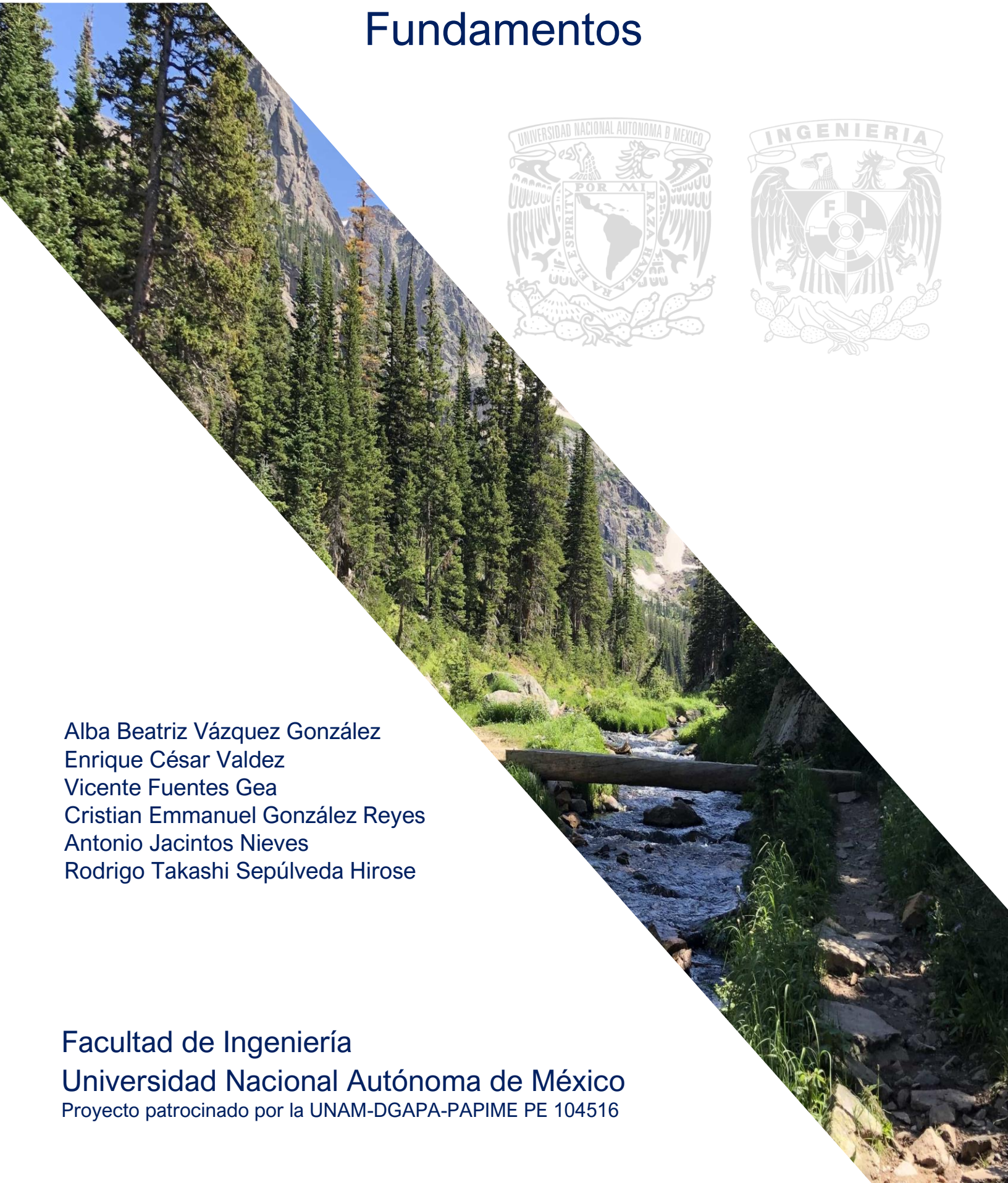
INGENIERÍA AMBIENTAL

Fundamentos



Alba Beatriz Vázquez González
Enrique César Valdez
Vicente Fuentes Gea
Cristian Emmanuel González Reyes
Antonio Jacintos Nieves
Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose

Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Proyecto patrocinado por la UNAM-DGAPA-PAPIME PE 104516

VÁZQUEZ GONZÁLEZ, Alba Beatriz, Enrique Cesar Valdez, Vicente Fuentes Gea, Cristian E. González Reyes, Antonio Jacintos Nieves, Rodrigo T. Sepulveda Hirose. *Ingeniería Ambiental - Fundamentos.* México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2020, 366 p.

Ingeniería Ambiental
Fundamentos

Primera edición 11 de noviembre de 2020

Derechos reservados.
©2020, Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería
Avenida Universidad 3000 Ciudad Universitaria,
Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, México, CDMX.

http://www.ingenieria.unam.mx/

ISBN 978-607-30-3785-3

Prohibida la reproducción o transmisión total o parcial de esta obra por cualquier medio o sistema electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Hecho en México

Ingeniería Ambiental

Fundamentos

FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

Ingeniería Ambiental

Fundamentos

M. en I. Alba Beatriz Vázquez González
Profesora Titular C

Dr. Enrique César Valdez
Profesor Titular C

M. en C. Vicente Fuentes Gea
Profesor Titular C

M. en I. Cristian Emmanuel González Reyes
Profesor Asociado C

M. en G.A. Antonio Jacintos Nieves
Profesor de Asignatura

M. en I. Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose
Profesor Asociado C

Edición
Ing. Esp. Marco Antonio Luque García
Profesor de Asignatura

Agradecimientos:
Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME
clave del proyecto PE104516

Índice

Prefacio

1. Ingeniería Ambiental 1

1.1 Definiciones: ingeniería, ingeniería civil, ingeniería ambiental, ambiente, contaminación e impacto ambiental. 3

1.1.1 Ingeniería 3
1.1.2 Ingeniería Civil 4
1.1.3 Ingeniería Ambiental 4
1.1.4 Ambiente 6
1.1.5 Contaminación 8
1.1.6 Impacto Ambiental 12

1.2 El enfoque de sistemas. Sistemas de uso y manejo del agua; sistemas de control de la calidad del aire; sistemas de manejo de residuos sólidos 14

1.2.1 El enfoque de sistemas 14
1.2.2 Sistemas de uso y manejo del agua 15
1.2.3 Sistemas de control de la calidad del aire 21
1.2.4 Sistemas de manejo de residuos sólidos 24

1.3 Desarrollo sustentable 27

1.3.1 El concepto de sustentabilidad 28
1.3.1 Enfoque sistémico de la sostenibilidad 30

1.4 Preguntas y actividades propuestas 36

2. Conceptos básicos del análisis demográfico 42

2.1 Dinámica de la población humana 42

2.1.1 Modelo de transición demográfica 43
2.1.2. Situación demográfica en América Latina y el Caribe 46
2.1.3. Situación demográfica de México 49

2.2 Fuentes de información 53

2.2.1. Fuentes primarias 53
2.2.2. Fuentes secundarias 55

2.3 Componentes y características de la población 59

2.3.1. Dimensión 59
2.3.2. Estructura 60
2.3.3. Pirámide poblacional 61
2.3.4. Distribución geográfica 64
2.3.5. Componentes demográficos 64
2.3.6. Fecundidad 65
2.3.7. Mortalidad 68
2.3.8. Migración 70

2.4 Proyecciones de población y métodos 74

2.5 Industrialización y urbanización 80

2.5.1. Los primeros centros urbanos 81
2.5.2. La urbanización en el siglo XIX 84
2.5.3. La influencia de la industrialización noroccidental europea 85
2.5.4. Metropolización 85

2.5.5. Los centros urbanos del futuro: Ciudades Inteligentes ... 87
2.6 Instrumentos de política ambiental para regular el uso del suelo y las actividades productivas en el país. ... 90
2.6.1. Ordenamiento ecológico del territorio ... 91
2.6.2. Instrumentos económicos ... 92
2.6.3. Criterios ambientales para el desarrollo urbano y vivienda ... 93
2.6.4. El ambiente y las actividades productivas ... 93
2.6.5. El Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio ... 95
2.7 Preguntas y actividades propuestas ... 100

3. Balances de materia y energía ... 111
3.1 Conservación de la materia y la energía ... 114
3.2 Balances de materia ... 116
3.2.1 Sistemas sin transformaciones ... 118
3.2.2 Sistemas con transformaciones ... 123
3.2.3 Reactores ... 129
3.2.4 Diseño de reactores ... 131
3.3 Balances de energía ... 135
3.3.1 Aplicación de la primera ley de la termodinámica: Contaminación térmica ... 136
3.3.2 Aplicación de la segunda ley de la termodinámica: Rendimiento de centrales termoeléctricas. ... 138
3.4 Preguntas y actividades propuestas ... 141

4. Ingeniería y principios de ecología ... 144
4.1 Características de los ecosistemas ... 146
4.1.1. Sucesión ecológica ... 149
4.1.2. Asociaciones bióticas naturales ... 154
4.2 Flujo de energía ... 159
4.3 Cadenas y niveles tróficos ... 161
4.4 Flujo de masa ... 165
4.5 Ciclos de nutrientes ... 178
4.6 Fundamentos de limnología ... 192
4.6.1. Organismos en las zonas de los ecosistemas lénticos ... 195
4.6.2. Características físicas de los ecosistemas lénticos ... 196
4.7 Eutrofización ... 197
4.8 Especies de plantas y animales en peligro ... 202
4.8.1. Rareza de las especies ... 203
4.8.2. Extinción de especies ... 206
4.8.3 Impactos que causan proyectos de desarrollo en los ecosistemas ... 209
4.9 Leyes, reglamentos y normas oficiales mexicanas aplicables a la protección de los ecosistemas ... 219
4.9.1. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente ... 219
4.9.2. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable ... 221
4.9.3. Ley General de Vida Silvestre ... 223
4.9.4. Ley de Desarrollo Rural Sustentable ... 223
4.9.5. Ley de Aguas Nacionales ... 224
4.9.6. Ley Federal de Metrología y Normalización ... 224
4.9.7. Ley de Productos Orgánicos ... 225
4.9.8. Reglamentos ... 226

4.9.9. Normas oficiales mexicanas ... 226
4.10 Preguntas y actividades propuestas ... 230

5. Microbiología y epidemiología ... 255
5.1 Fundamentos de microbiología ... 256
5.1.1 Bacterias ... 258
5.1.2 Virus, algas, hongos y protozoarios ... 264
5.2 Microbiología aplicada ... 269
5.2.1 Microbiología en suelos y tratamiento de residuos ... 269
5.2.2 Microbiología en agua y su tratamiento ... 270
5.2.3 Microbiología en atmósfera e interiores ... 274
5.3 Epidemiología y enfermedades ... 276
5.3.1 Patógenos ... 277
5.3.2 Enfermedades de trasmisión por agua ... 279
5.3.3 Enfermedades de trasmisión por aire ... 282
5.3.4 Enfermedades de trasmisión por insectos y roedores ... 284
5.4 Enfermedades no infecciosas ... 286
5.4.1 Contaminantes inorgánicos ... 286
5.4.2 Contaminantes orgánicos ... 289
5.5 Preguntas y actividades propuestas ... 292

6. Evaluación de la calidad del agua ... 296
6.1 Contaminantes del agua y sus fuentes ... 298
6.1.1 Uso del agua en el mundo ... 298
6.1.2 Huella hídrica ... 299
6.1.3 Uso del agua en México ... 302
6.1.4 Fuentes de contaminación puntuales y no puntuales ... 305
6.1.5 Contaminación biológica ... 306
6.1.6 Contaminación física ... 308
6.1.7 Contaminación química ... 309
6.1.8 Contaminantes Emergentes ... 310
6.2 Balance de oxígeno disuelto en ecosistemas acuáticos ... 312
6.2.1 Solubilidad de gases en el agua. Ley de Henry ... 313
6.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno ... 318
6.3 Modelo de oxígeno disuelto ... 324
6.3.1 Déficit de Oxígeno ... 324
6.3.2 Degradación – aireación ... 326
6.3.3 Modelo de Streeter-Phelps ... 330
6.4 Aguas subterráneas ... 338
6.4.1 Tipos de acuíferos ... 338
6.4.2 Gradiente hidráulico y Ley de Darcy ... 341
6.4.3 Velocidad de flujo ... 343
6.4.4 Dispersión y retardo ... 346
6.5 Preguntas y actividades propuestas ... 360

7. Bibliografía ... 365

Índice de objetos de aprendizaje

1 - Ingeniería Ambiental

1.1. Ingeniería civil y sustentabilidad - Diseñado por Alba Vázquez 37
1.2. EcoPuma - Diseñado por Alba Vázquez 37
1.3. Índice IESE, Cities in motion (ICIM) - Diseñado por Alba Vázquez 38
1.4. Índice IESE, Cities un motion México - Diseñado por Alba Vázquez 38
1.5. Desarrollo sustentable - Diseñado por Alba Vázquez 40

2 - Conceptos básicos del análisis demográfico

2.1. Análisis del video Don't panic: The facts about population - Diseñado por Cristian González 103
2.2. Elaboración de gráficos en GAPMINDER Tools.- Diseñado por Cristian González 104
2.3. Consulta de registros de estadísticas vitales de INEGI - Diseñado por Cristian González 106
2.4. Generación y análisis de pirámides poblacionales - Diseñado por Cristian González 107
2.5. Matriz y tasas de migración - Diseñado por Cristian González 108
2.6. Proyecciones de población - Diseñado por Cristian González 109

3 - Balances de materia y energía

3.1. Balances de materia 1- Diseñado por Vicente Fuentes 144
3.2. Balances de materia en un proceso de mezcla - Diseñado por Vicente Fuentes 144

4 - Ingeniería y principios de ecología

4.1. Ecosistemas de México: extensión y distribución - Diseñado por Enrique César 234
4.2. Manglares de México - Diseñado por Enrique César 235
4.3. Convención Minamata sobre el Mercurio - Diseñado por Enrique César 236
4.4. Cambio climático y mosquitos - Diseñado por Enrique César 237
4.5. Malezas acuáticas - Diseñado por Enrique César 238
4.6. COP13 de Diversidad Biológica, México 2016- Diseñado por Enrique César 239
4.7. Aprender a proteger la Biodiversidad - Diseñado por Enrique César 240
4.8. Pérdida de Biodiversidad - Diseñado por Enrique César 241
4.9. Praderas - Diseñado por Enrique César 241
4.10. Plagas - Diseñado por Enrique César 243
4.11. Rally de identificación de impactos en el medio natural - Diseñado por Enrique César 244

5 - Microbiología y epidemiología

5.1. Diagrama Causa-Efecto de la crisis del cólera en Londres - Diseñado por Antonio Jacintos 293
5.2. Una bacteria que hace milagros - Diseñado por Alba Vázquez 293
5.3. Línea de tiempo de brotes epidémicos - Diseñado por Antonio Jacintos 293
5.4. Investigación de enfermedades no infecciosas (ENI) - Diseñado por Antonio Jacintos 294

6 - Evaluación de la calidad del agua

6.1. Con vida el agua - Diseñado por Alba Vázquez 361
6.2. Huella hídrica, el agua está en todas partes - Diseñado por Rodrigo Takashi 361
6.3. Realización de un video del tema de acuíferos - Diseñado por Rodrigo Takashi 362
6.4. Crucigrama de aguas subterráneas - acuíferos - Diseñado por Rodrigo Takashi 363

Prefacio

La ingeniería civil es una profesión que tiene como misión la satisfacción de diversas necesidades humanas. Desde el suministro de agua, la recolección y transporte de residuos líquidos y sólidos, su disposición y/o tratamiento, las obras de edificación que sirven como vivienda, para actividades institucionales, comerciales, industriales, de servicios, hospitalarias y otras; las vías de comunicación como carreteras, aeropuertos, puentes, ferrocarriles; las de generación energía, entre muchas otras. La ingeniería civil es una profesión de servicio, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de la sociedad, lo que ha permitido el incremento en la esperanza y calidad de vida. Las necesidades humanas tienen dos características; por un lado, son cambiantes en el tiempo y el espacio y por el otro, cada vez resulta más complejo satisfacerlas debido a las diversas restricciones que imponen el agotamiento y contaminación de los recursos naturales, la destrucción y aislamiento de ecosistemas, y fenómenos como el cambio climático mundial. Precisamente, estos problemas han sido causados en buena medida por el desarrollo de proyectos de ingeniería civil, los cuales utilizan los recursos de la naturaleza para llevar a cabo obras de servicio colectivo. Además, tiene el compromiso impostergable de encontrar soluciones a los problemas de contaminación a través del tratamiento y disposición adecuada de los desechos líquidos y sólidos; a la reducción y control de emisiones a la atmósfera para proteger la salud de las personas y mitigar el cambio climático, entre muchos otros. Es decir, la ingeniería civil no sólo debe proveer la infraestructura de servicios a la sociedad, también tiene que encontrar las mejores soluciones a la contaminación, al reciclaje de nuestros residuos y en general, a mantener un ambiente limpio. Este tema ha sido reconocido por los ingenieros civiles de todo el mundo a través del documento La Visión para la Ingeniería Civil en el 2025, basado en La Cumbre sobre el Futuro de la Ingeniería Civil en 2025 realizada en 2006, a la que asistieron ingenieros civiles de todo el mundo. A continuación, una de sus conclusiones:

> *Los participantes en la Cumbre contemplan un mundo muy diferente para los ingenieros civiles en 2025. Una población mundial en permanente crecimiento y que continúa desplazándose hacia las zonas urbanas va a exigir la adopción generalizada de la sustentabilidad. Las demandas de energía, agua potable, aire limpio, eliminación segura de residuos y transporte van a impulsar la protección ambiental y el desarrollo de infraestructura. La sociedad se va a enfrentar a amenazas crecientes como resultado de los acontecimientos naturales, de los accidentes y, quizá, de otras causas, como el terrorismo.*

Para responder a estos retos, en el Plan de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Civil 2016, se propusieron dos nuevas asignaturas obligatorias de 6 créditos cada una: Ingeniería Ambiental I (5o semestre) e Ingeniería Ambiental II (6o semestre). En el curso de Ingeniería Ambiental I, se incluyen las bases de las ciencias de la ingeniería abarcando temas como: sustentabilidad, enfoque de sistemas, demografía, balances de materia y energía, ecología, microbiología y epidemiología, y evaluación de la calidad del agua. En el curso de Ingeniería Ambiental II, se incluyen los siguientes temas: recursos geológicos y del suelo, almacenamiento, recolección y transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos, contaminación del aire y su control, contaminación por ruido y evaluación del impacto ambiental.

Para apoyar la enseñanza de las asignaturas mencionadas se desarrolló el proyecto académico *Libros digitales y estrategias de evaluación apoyadas en ambientes virtuales y objetos de aprendizaje para las asignaturas de Ingeniería Ambiental I y II* bajo el patrocinio del Programa de Apoyo para la Innovación y Mejoramiento de la

Enseñanza (PAPIME). Los libros y las estrategias apoyadas en ambientes virtuales y objetos de aprendizaje han sido preparados para formar a los futuros ingenieros civiles con orientación al desarrollo innovador de proyectos de ingeniería sustentables, para la solución de problemas relacionados con la sustentabilidad, el cuidado del ambiente y, en términos generales, para resolver problemas inherentes al crecimiento poblacional, y al bienestar social y económico.

El Libro de Ingeniería Ambiental: Fundamentos incluye 6 capítulos. El capítulo 1 "Ingeniería Ambiental" introduce al estudiante en la evolución y conceptos de la ingeniería, ingeniería civil, ingeniería ambiental, ambiente, contaminación e impacto ambiental. Se estudia el tema del enfoque de sistemas, que en la ingeniería ambiental debe ser usado ampliamente debido a que es integrador y holístico, lo que permite el análisis de problemas complejos que presentan varias interrelaciones entre variables y/o con otros sistemas, que implican la inter y trans-disciplina. Y finalmente se incluye el concepto de sustentabilidad bajo un enfoque sistémico y los criterios mínimos de la sustentabilidad.

El capítulo 2 "Conceptos Básicos del Análisis Demográfico" incluye temas relativos a la ciencia que estudia las poblaciones humanas, su dimensión, estructura, evolución y características generales. El tema es de gran importancia, ya que permite al ingeniero hacer pronósticos de la evolución de la población, datos indispensables para la planeación y diseño de los proyectos. Destacan los temas de las instituciones nacionales competentes en el ámbito demográfico y los instrumentos para recabar información y su periodicidad, aspectos y componentes demográficos, uso de la información gubernamental de la dinámica poblacional para la determinación de los volúmenes poblacionales futuros, y los conceptos de urbanización e industrialización.

Una gran cantidad de problemas con los que se enfrenta el ingeniero civil demandan la aplicación de varios principios fundamentales procedentes de las ciencias químicas, físicas y biológicas. En particular, los principios de la Conservación de la Masa y el de la Conservación de la Energía son esenciales para resolver numerosos problemas de ingeniería ambiental, particularmente en los campos relacionados con el tratamiento de aguas, la evaluación del impacto ambiental y la simulación de procesos. Estos temas que son fundamentales en el planteamiento de problemas que implican el entendimiento del sistema de estudio y su modelación se desarrollan en el capítulo 3 "Balances de Materia y Energía".

Los ingenieros deben comprender aspectos específicos de funcionamiento de la biosfera para no destruir pequeñas partes de ella o para no ponerla en peligro en su totalidad. En la etapa de planeación de un proyecto, al evaluar el impacto ambiental de una obra o actividad, el estudio de la porción biótica debe considerar el valor de lo que está presente en la zona de estudio (situación sin proyecto), así como la respuesta de las comunidades naturales a los impactos que causaría el proyecto, de llevarse a cabo (situación con proyecto). En el Capítulo 4 "Ingeniería y principios de Ecología" se desarrollan los principios de la ecología que le permitirán al ingeniero conocer los sistemas naturales y su funcionamiento, para poder protegerlos y garantizar que puedan seguir siendo una fuente de recursos. Algunos temas que se desarrollan son los niveles de organización y las interacciones de los organismos vivos en los niveles de poblaciones, comunidades, ecosistemas y biosfera; el flujo de carbono, nitrógeno y fósforo a través de los ecosistemas y el impacto de las actividades antropogénicas en dichos flujo; la intensificación; los beneficios, amenazas e indicadores de la biodiversidad en relación con la sociedad y las funciones de un ecosistema y la legislación nacional para la protección de los ecosistemas.
El ingeniero civil está relacionado con la salud de las personas y del ambiente. Por ejemplo, en las enfermedades infecciosas cuyo vehículo de transmisión es el agua, es el ingeniero civil el que interviene con

sus obras de abastecimiento de agua potable y de colección y tratamiento de agua residual para romper el ciclo de la enfermedad en la ruta de transmisión, el agua. El médico hará su labor en el individuo enfermo y en aquellas personas que son susceptibles a enfermar. El capítulo 5 " Microbiología y Epidemiología" desarrolla entre otros temas: las características de los microorganimos, la relación que existe de los microorganismos con el ambiente y las actividades humanas, los procesos en los cuales los microorganismos se utilizan en la ingeniería ambiental para reducir los contaminantes o aprovechar los nutrientes, las enfermedades contagiosas al ser humano ocasionadas por microorganismos y enfermedades con mayor presencia en la salud humana que no son infecciosas y que son originadas por contaminantes en el ambiente.

Finalmente, el capítulo 6 "Evaluación de la calidad del agua" incluye temas tales como: usos del agua más comunes a nivel mundial y en nuestro país, parámetros de calidad del agua como el oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno, modelos matemáticos para estimar el efecto de la descarga de desechos demandantes de oxígeno en ríos, fenómenos de transporte de los contaminantes en el subsuelo, además del marco normativo.

Guía para el uso de este libro

El grupo de académicos que hemos participado en el proyecto *Libros digitales y estrategias de evaluación apoyadas en ambientes virtuales y objetos de aprendizaje para las asignaturas de Ingeniería Ambiental I y II* constituido por 5 profesores de carrera y 1 profesor de asignatura hemos propuesto y discutido en grupo los recursos didácticos más convenientes para cada uno de los temas escritos, que incluyan fundamentalmente el contenido formativo. Seleccionamos y ordenamos las actividades pertinentes con base en los objetivos de aprendizaje. Como apoyo a los libros electrónicos se desarrollaron una serie de estrategias de evaluación apoyadas en ambientes virtuales y objetos de aprendizaje, los cuales tendrán como propósito principal el autoaprendizaje, la enseñanza basada en la actividad formativa del estudiante, y que los alumnos se entusiasmen por aprender. Estas estrategias de evaluación y los objetos de aprendizaje se encuentran incluidos a lo largo del contenido de los libros con la siguiente simbología.



Actividad 2.1.
Análisis del video *Don't Panic: The facts about population.*
Con base en el contenido del video propuesto, responde el cuestionario planteado

Esta información es útil para el docente, ya que se le sugiere en dónde es pertinente encargar el desarrollo de la actividad. El alumno podrá consultar las instrucciones de cada actividad hacia el final de cada capítulo, con un recuadro como el que se muestra a continuación.

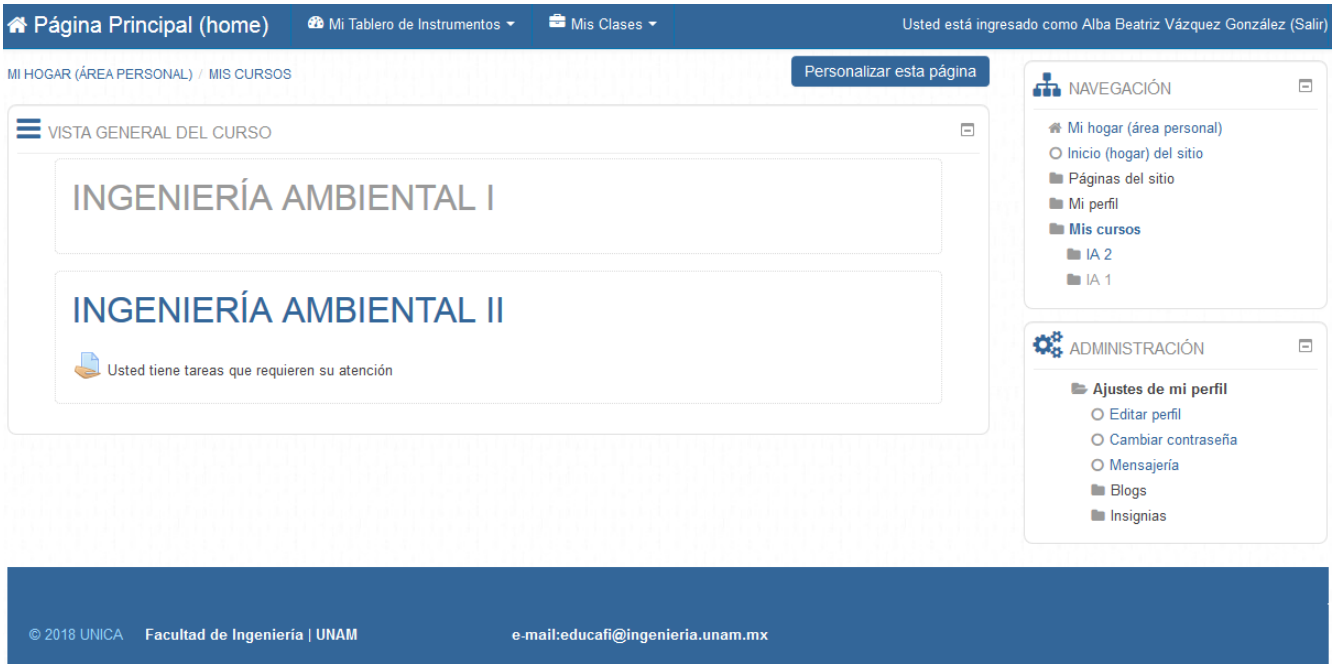
Actividad 4.1 **COP13 de Diversidad Biológica, México 2016**
A partir del video elabore un mapa conceptual. Instrucciones: 1. Ver el video que se encuentra en la siguiente liga: https://youtu.be/ZWtFbmAq8xA 2. Identificar los conceptos clave generales (mínimo 5 y máximo 10), 3. Jerarquizar los conceptos clave (concepto general, conceptos subordinados). ubicar a la izquierda el general y los subordinados a la derecha. 4. Establecer al menos tres niveles de relaciones entre los conceptos clave (utilizar líneas para unir conceptos), 5. Emplear conectores entre conceptos a través del uso de palabras de enlace, símbolos y flechas para indicar la direccionalidad de las relaciones.

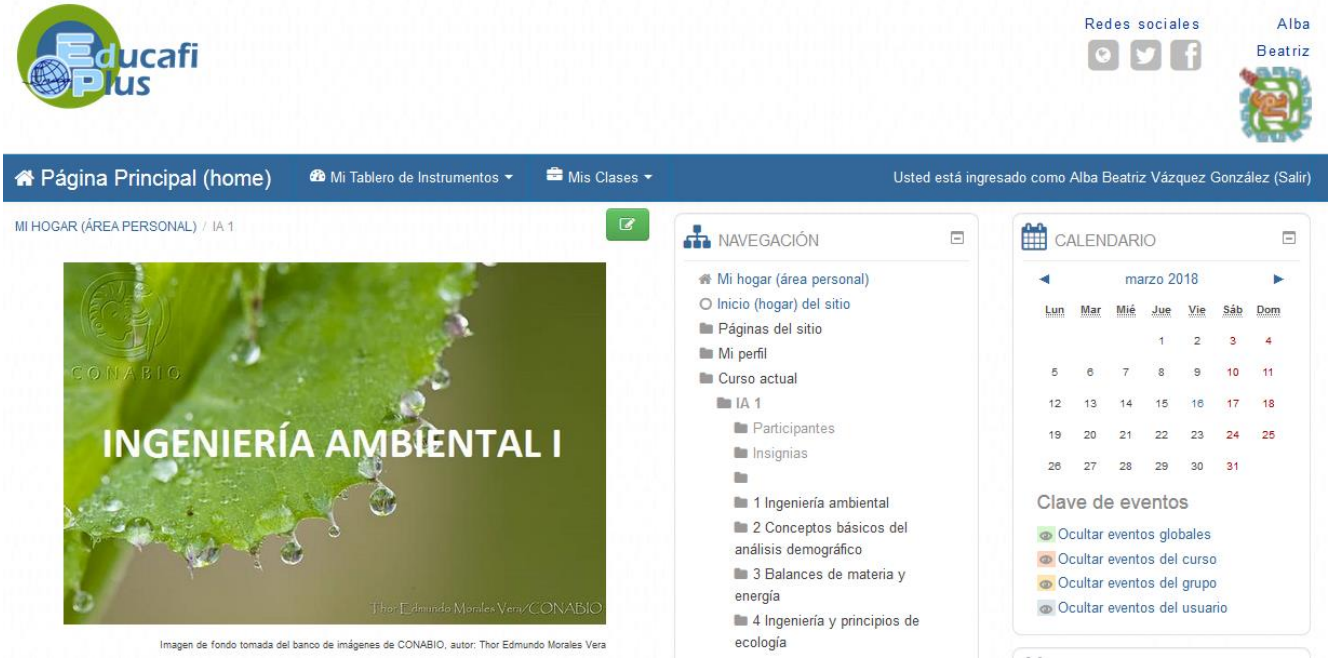
En el caso de los alumnos de la Facultad de Ingeniería podrán ingresar a la plataforma educativa EDUCAFI PLUS en donde se encuentran alojados los dos cursos en línea de Ingeniería Ambiental I e Ingeniería Ambiental II. Allí encontrarán todas las actividades que incluyen las instrucciones y la lista de cotejo. La lista de cotejo es información útil para el docente, ya que se le sugiere al profesor cómo evaluar la actividad y el alumno anticipadamente cómo será evaluado. Se incluye a continuación un ejemplo de lista de cotejo.

LISTA DE COTEJO

NUM	ASPECTO	**PUNTAJE**	**OBTENIDO**
1.	Debe completar los valores faltantes en la tabla.	10	
2.	Pregunta 1.-Investiga y proporciona el dato relativo a la extensión territorial de México y cita la fuente.	10	
3.	Pregunta 2.- Menciona el porcentaje de la superficie del territorio nacional que abarcaban los ecosistemas y el porcentaje que ocupan en la actualidad.	15	
4.	Pregunta 3.- Calcula la extensión territorial total que se ha perdido de los ecosistemas de México en porcentaje y en km^2.	15	
5.	Pregunta 4.- Infiere los principales usos del suelo que han sustituido a los ecosistemas originales.	25	
6.	Pregunta 5.- Infiere qué ecosistema está en mayor riesgo de desaparecer y explica en qué se basa.	25	
TOTAL		**100**	

La plataforma educativa EDUCAFI PLUS le permitirá al estudiante de la Facultad de Ingeniería, tener toda información de las actividades, videos, documentos en pdf, instrucciones, lista de cotejo, y otros. Además, podrá realizar algunas de las actividades en línea como por ejemplo cuestionarios, y subir sus tareas para que sean calificadas por el profesor. Se muestra a continuación ejemplos de pantalla de la plataforma.





Contenido:

5.1 Fundamentos de microbiología.

5.2 Microbiología aplicada. Ejemplo demostrativo.

5.3 Epidemiología y enfermedades.

5.4 Enfermedades no infecciosas causadas por contaminantes inorgánicos y orgánicos.

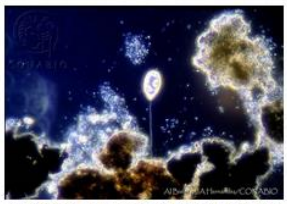


Imagen tomada del banco de imágenes de CONABIO, autor: Al Bieler y JAH Hernández

Vorticella, microorganismo unicelular de agua dulce eutrofizada

Actividades

- 5.01 Crisis del cólera - Diseñado por Antonio Jacintos
- 5.02. Una bacteria que hace milagros - Diseñado por Alba Vázquez
- 5.03 Brotes epidémicos - Diseñado por Antonio Jacintos
- 5.04 ENI - Diseñado por Antonio Jacintos

4.09. Aprender a proteger la Biodiversidad - Diseñado por Enrique César

Instrucciones:

1. Ve el video *Aprender a proteger la Biodiversidad*.
2. Organiza las ideas en una tabla con tres columnas, cuyos títulos serán: positivo, negativo e interesante.
3. Como conclusión del llenado de la tabla, expresa tus reflexiones sobre cómo puedes contribuir a promover la biodiversidad como universitario y, más adelante, en tu vida profesional como ingeniero civil.

Positivo	Negativo	Interesante



Forma de evaluación:

NUM	ASPECTO	PUNTAJE
1.	Incluye una tabla con tres casillas evidentemente negativas y al menos 5 clasificadas como positivas o interesantes, a juicio del alumno.	50
2.	Expresa cómo puede contribuir a promover la biodiversidad en su papel actual, como universitario.	25
3.	Expresa cómo puede contribuir a promover la biodiversidad en el ejercicio de su profesión de ingeniero.	25



Los libros digitales incluyen ejemplos resueltos, además de *Recuadros de Información* que son temas de interés relacionados con los temas del libro, al final de cada capítulo se incluye una sección de *Preguntas y actividades propuestas*.

Sabemos que, a pesar del empeño y cuidado puesto en este proyecto, habrá oportunidad de mejorarlo. Invitamos a los docentes y estudiantes a hacernos llegar observaciones y sugerencias al siguiente correo alba.vazquez@ingenieria.unam.edu

Alba Beatriz Vázquez González
Concepción, planeación y coordinación del proyecto.

Capítulo

1

Objetivos de aprendizaje

Objetivo del capítulo: El alumno comprenderá las definiciones en torno a la ingeniería ambiental y su importancia para aspirar al desarrollo sustentable.

En este capítulo aprenderás acerca de:

1. El desarrollo histórico de la ingeniería en el mundo.
2. La ingeniería y sus principales características.
3. La ingeniería civil y cuáles son sus compromisos.
4. El surgimiento de la ingeniería ambiental y su definición.
5. El enfoque sistémico.
6. El ambiente, sus características fundamentales y algunas actividades humanas que lo han alterado.
7. El fenómeno de urbanización
8. La contaminación. Algunos ejemplos: calidad del agua y del aire.
9. El concepto de gasto de protección ambiental.
10. El impacto ambiental.
11. El concepto de sustentabilidad y de desarrollo sustentable
12. Los fundamentos de la sustentabilidad y sus criterios en la esfera social, ambiental y económica.

Capítulo

1

1. Ingeniería Ambiental

"Al final conservaremos lo que amamos.
Amaremos lo que entendemos
Entenderemos lo que nos es enseñado"
Baba Dioum (1937-)
Ambientalista y poeta de Senegal

Difícilmente hay una actividad humana a la que el ingeniero civil no esté ligado. A partir de que los grupos humanos dejaron de ser nómadas la ingeniería surge para satisfacer todas sus necesidades básicas, inicialmente la de protección y refugio, la de alimentación y la de suministro de agua, principalmente. Desde el inicio de la civilización humana, el hombre ha hecho uso de sus reflejos, intuición, entendimiento, conocimientos, y facultades, es decir ha hecho uso de su ingenio. Así usando la razón surge la ingeniería que es la aplicación de conocimientos para inventar e innovar para poder sobrevivir. Entre las civilizaciones con mayor desarrollo de la ingeniería civil se incluyen:

a) La de los egipcios que construyeron aproximadamente 10,000 pirámides, una de las más grandes fue la del faraón Keops. Esta pirámide que actualmente se conoce como La Gran Pirámide de Guiza, tiene 230.4 m por lado en la base cuadrada y originalmente medía 146.3m de altura. Constituida por aproximadamente 2,300,000 bloques de piedra, cerca de 1.1 toneladas en promedio.

b) La mesopotámica desarrollada al norte de Irán entre los ríos Éufrates y Tigris. Se caracterizó por la construcción de murallas y templos, acequias y la invención de la torre de asalto para fines militares.

c) La griega caracterizada por la construcción de templos en Acrópolis, lugar de reunión en un monte desde donde se apreciaba la ciudad de Atenas. Precisamente en la construcción de estos templos se emplearon por primera vez elementos estructurales (vigas) con hierro forjado.

d) La civilización romana destaca por el desarrollo de su ingeniería en las obras hidráulicas, particularmente acueductos, edificios, caminos y puentes. Construyeron una gran cantidad de acueductos, algunos de los cuales se siguen utilizando actualmente. En el apogeo de la civilización romana se sabe que se tenían prácticamente 30,000 km de caminos entre el Valle del Éufrates y la Gran Bretaña. Por otra parte, entre sus construcciones destaca el Coliseo, edificación realizada para reuniones públicas y que fue usada por más de 500 años.

e) Las grandes civilizaciones de India y China. Por ejemplo, los hindús destacan por el uso del acero y su planteamiento de los números arábigos. Los chinos destacaron en la construcción de la Gran Muralla China y en la construcción de canales para la irrigación.

f) Es en la civilización europea durante el Renacimiento que la profesión de ingeniero fue reconocida. Destacan personajes de aquella época como Filippo Brunelleschi que desarrolló el dibujo de perspectiva; Galileo, a quien se atribuye el descubrimiento de la ley fundamental de la caída de los cuerpos y que además estudió el movimiento armónico del péndulo; Simón Stevin a quien se atribuye el "triángulo de fuerzas" que permitió manejar fuerzas resultantes que actuaban en los miembros estructurales, Stevin también estudió el tema de fracciones y realizó trabajos que llevaron al desarrollo del sistema métrico; Fermat y Descartes a quienes se les atribuye el desarrollo de la geometría analítica; William Oughtred quien diseñó la primera regla de cálculo basada en la suma de logaritmos para obtener el producto de dos números; Descartes y Leibniz quienes desarrollaron en forma independiente el cálculo diferencial; Newton quien desarrolló el cálculo integral, y luego describió la relación recíproca entre los cálculos diferencial e integral. Por otra parte, es a Jean Baptiste Colbert quien fue ministro durante el reinado de Luis XIV a quien se le atribuye el establecimiento de una de las primeras escuelas de ingeniería en 1675. En 1771 se funda la Sociedad de Ingenieros por un grupo de ingenieros civiles en 1771, y es a John Smeaton, director del grupo, el que por primera vez utiliza por su cuenta el título de *ingeniero civil* para señalar que su incumbencia no era militar, ya que hasta aquella época el desarrollo de la ingeniería civil había estado relacionada con objetivos militares. Es precisamente a Smeaton a quien se le atribuye la metodología de trabajo que actualmente utilizan las empresas de ingeniería; consistente en hacer del diagnóstico de un problema y su propuesta de solución, a continuación, si el cliente solicita resolver el problema la empresa de ingeniería aplica ciertos procedimientos de diseño, después un contratista supervisado por un ingeniero lleva a cabo la solución planteada.

Posteriormente a la muerte de Smeaton la Sociedad fundada por él desaparece, posteriormente en 1818 y con el propósito de generar el conocimiento formal para la ingeniería civil se funda Institution of Civil Engineers (ICE), esta institución se propuso definir sus propias políticas para definir las actividades profesionales de los ingenieros civiles motivados o guiados por el interés público. Una de las primeras definiciones de la ingeniería civil es propuesta por Tredgol para obtener el apoyo de la realeza, su definición fue la siguiente "el arte de dirigir grandes fuentes de energía en la naturaleza para el uso y conveniencia del hombre".

En cuanto a instituciones educativas fue a mediados del siglo XVIII que se establece la primera escuela de ingeniería, la École Nationale des Ponts et Chaussées. Siguieron, el Eidgenos-sisches Polytechnicum en Zurich en 1855, las escuelas politécnicas en Delft en 1864, y otras en Chemnitz, Turín y Karlsruhe. En 1865 se fundó el Massachusetts Institute of Technology, el primero de su tipo en los Estados Unidos.

1.1 Definiciones: ingeniería, ingeniería civil, ingeniería ambiental, ambiente, contaminación e impacto ambiental.

1.1.1 Ingeniería

A través del análisis de la historia de la humanidad pueden inferirse algunas de las principales características de la ingeniería. Una de ellas es que está encaminada a resolver problemas y a satisfacer necesidades humanas, requiere además de ingenio e inventiva, de la aplicación de conocimientos científicos y técnicos en forma estructurada, lo que supone la aplicación del método científico, lo que se constituye además en soporte para la innovación que permite desarrollar nuevos procesos, métodos y técnicas.

Es importante advertir que los problemas y las necesidades humanas son cambiantes en el espacio y en el tiempo, lo que implica que los ingenieros se enfrentan a continuos retos ya que las necesidades humanas evolucionan, los problemas son diversos, y las restricciones cada vez son mayores.

Atender las necesidades humanas implica reconocer el compromiso de la ingeniería como profesión al servicio de la sociedad, un claro ejemplo de ello lo dio el Dr. Emilio Rosenblueth Deutsch distinguido ingeniero civil especialista en ingeniería sísmica, que al recibir en 1992 el Premio Nacional de Ingeniería, manifestó en su discurso:

Quiero pensar, señor Presidente, que con su participación el día de hoy se entenderá el mensaje que deseo a usted transmitir: ni la investigación científica ni la tecnológica, ni el desarrollo tecnológico, ni lo que cueste el uso del cerebro para llevar a cabo una buena planeación y un diseño tan innovativo como sensato, son lujos que nos podremos dar cuando seamos ricos. Son hoy necesidades que urge colmar para que no se agrande la distancia entre nuestro país y los más prósperos, para que nuestros compatriotas puedan mejorar la calidad de su vida, para que investigadores e ingenieros civiles cumplamos con la misión que se nos encomienda, con la misión que ilusionados nos asignamos a nosotros mismos: la de servir significativa y eficazmente al país que amamos.

Para definir a la **ingeniería** se hará referencia a una de las más claras concepciones de la ingeniería propuesta por Rosenblueth y Elizondo.

> La ingeniería es una profesión, no un arte, no una ciencia ni una técnica. Esas categorías comparten herramientas, capacidades y propósitos. Sus diferencias son cuestión de énfasis. En un arte el propósito sobresaliente es la expresión; en una ciencia el acercamiento a la verdad; en una técnica el servicio al cliente, y en una profesión el servicio a la sociedad. Los conocimientos que requiere un técnico se hallan en los manuales; lo que le interesa de cualquier problema de su incumbencia está resuelto. En cambio, para el profesional cada problema es nuevo. (Rosenblueth & Elizondo, 1994)

1.1.2 Ingeniería Civil

Se presentan a continuación algunas definiciones de la **ingeniería civil** que se han tomado de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE, por sus siglas en inglés) fundada en 1852 con más de 150 000 miembros de 177 países, y de la Institución de Ingenieros Civiles (ICE, por sus siglas en inglés) una de las instituciones líderes de ingenieros civiles en el mundo con casi 200 años y miembros en 150 países.

> Los ingenieros civiles diseñan, construyen, y mantienen los servicios de la sociedad moderna-carreteras y puentes, sistemas de suministro de agua y energía, puertos y aeropuertos y la infraestructura para mantener el ambiente limpio, por nombrar sólo algunos de ellos. (ASCE, 1996).

> La ingeniería civil tiene como propósito ayudar a la gente y transformar el mundo. Es el trabajo de los ingenieros civiles lo que hace nuestras vidas más fáciles. Mantiene conectados nuestros hogares al suministro de energía de electricidad y gas. Nos proporciona agua limpia y purificada para que pueda ser usada de nuevo. Construyen todo tipo de medios para que podamos transportarnos, desde carreteras y puentes, ferrocarriles y aeropuertos. Los ingenieros civiles también encuentran maneras inteligentes de reciclar nuestros residuos, encuentran soluciones a problemas de contaminación. (ICE, 2016).

En las definiciones previas se reitera el objetivo de la ingeniería civil de servir a la sociedad y se resalta, además un aspecto de la mayor relevancia. Además de los grandes logros de la ingeniería civil al haber transformado los recursos naturales en obras de servicio colectivo y como consecuencia de modificar la naturaleza para brindar los bienes y servicios a los seres humanos, actualmente enfrentamos el agotamiento y contaminación de los recursos naturales, la destrucción y aislamiento de ecosistemas, y fenómenos como el cambio climático mundial, entre otros problemas ambientales.

1.1.3 Ingeniería Ambiental

El origen de la preocupación del hombre por su salud y entorno podría ser considerado desde que los romanos construyeron un gran número de acueductos con la intención de garantizar el suministro seguro de agua, cuando en 1854 se adoptaron medidas en Londres para evitar la contaminación del agua subterránea y del río Támesis que causaron una epidemia de cólera, cuando a mediados del siglo XIX se construyeron los sistemas de alcantarillado en Londres, París, en Brooklyn y Boston.

> La **ingeniería ambiental** ha sido definida como la rama de la ingeniería que está relacionada con la protección del ambiente de los efectos perjudiciales de la actividad humana, protegiendo a la población de los efectos adversos de los factores ambientales y mejorando la calidad del ambiente para la salud y bienestar humano. (Engineers Council for Profesional Development, United Engineering Center, October 1977).

Por su naturaleza la ingeniería ambiental surge, con un enfoque sistémico y complejo dado el origen de los problemas que pretende resolver. Pero, ¿a qué se refiere el término enfoque sistémico? La mayoría de los problemas del mundo real que nos toca diagnosticar, analizar y resolver son complejos, en virtud de que hay un buen número de variables que participan y que están interrelacionadas entre sí, en el espacio e interactúan también en el tiempo a diferentes escalas de magnitud, desde lo nano y

microscópico hasta lo macro y megascópico. Precisamente este enfoque surge como una metodología para tratar los problemas complejos que son los que pretende resolver la ingeniería ambiental. Con relación a las escalas de magnitud, el recuadro 1.1 muestra algunas aplicaciones de la nanotecnología.

Recuadro 1.1 **La nanotecnología**
Algunas aplicaciones de la nanotecnología en agricultura son: el uso de nanosensores para detectar enfermedades en plantas, controlar las condiciones del suelo, monitorear el crecimiento de las cosechas y detectar nitrógeno, agroquímicos y otros agentes contaminantes; el uso de nanochips para la identificación de animales, de nanopartículas para administrar vacunas y fármacos y de bionanosensores para detectar microorganismos, enfermedades y sustancias tóxicas en animales; y el desarrollo de recubrimientos de nanopartículas para pesticidas y fertilizantes que permitan controlar mejor la liberación de los compuestos, reduciendo los problemas de contaminación. En la industria alimentaria, los usos incluyen el desarrollo de nanosensores y nanochips para el aseguramiento de la calidad y seguridad de los alimentos mediante la detección de su frescura y vida útil, así como de microorganismos patógenos, aditivos, fármacos, metales pesados, toxinas y otros contaminantes; la creación de envases inteligentes que alarguen la vida útil de los alimentos y los protejan de los microorganismos; la elaboración de nanoalimentos con propiedades funcionales nutritivas o con mejores características organolépticas, y el desarrollo de nanopartículas para la descontaminación del agua. Al ser de muy reciente desarrollo, la nanotecnología está poco regulada, comparada con la biotecnología. Existe conciencia de que las nanotecnologías y los nanomateriales pueden exponer a los seres humanos y el medio ambiente a nuevos riesgos, a través de diferentes mecanismos de interferencia con la fisiología humana y el ambiente. Ello plantea un desafío regulatorio, en ámbitos como la manufactura de nuevos productos y la protección de los trabajadores y del entorno. El reto es permitir que la sociedad obtenga el máximo beneficio de las aplicaciones de las nanotecnologías, a la vez que se asegura un nivel elevado de protección de la salud, la seguridad laboral y el medio ambiente.

Fuente: (Comisión de las Comunidades Europeas, 2008)

Un buen ejemplo de aplicación del enfoque sistémico puede apreciarse en los trabajos realizados por el Club de Roma. En 1968 se funda por científicos y políticos la organización no gubernamental denominada Club de Roma, preocupados por garantizar el futuro del mundo bajo una perspectiva multidisciplinar y holística. Dicha organización planteó por primera vez en 1972 el tema relativo a los límites del crecimiento a través de un estudio elaborado por un equipo multidisciplinario de investigadores de distintas nacionalidades del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT por sus siglas en inglés) y dirigidos por el profesor Meadows. En el estudio se presentaban las causas y consecuencias del crecimiento a partir de cinco variables: población, capital industrial, producción de alimentos, consumo de recursos y contaminación. En esencia el estudio concluía que no era posible crecer de manera infinita con un planeta con recursos finitos. El resultado al que se llegó a partir de la teoría dinámica de sistemas y de la modelación informática, es que se produciría un rápido crecimiento en todas las variables excepto en los recursos naturales, hasta alcanzar un punto máximo a partir del cual se presentaría un colapso. Para llegar a establecer esta conclusión los participantes del equipo dirigidos por Meadows partieron de un enfoque sistémico con las siguientes bases: a) perspectiva

global en el análisis de las diferentes variables, b) búsqueda para entender la complejidad a partir de un pensamiento holístico y c) perspectiva interdisciplinar y de largo plazo para comprender los problemas de las futuras generaciones.

Al paso del tiempo la concepción de la Ingeniería Ambiental ha evolucionado, ampliando el campo de atención de los problemas ambientales de forma integrada, considerando sus dimensiones ecológicas, sociales, económicas y tecnológicas, todo ello orientado a cumplir con el objetivo de promover un desarrollo sostenible o desarrollo sustentable. El desarrollo sustentable significa que la protección de la población humana y la mejora en su calidad de vida incluye el compromiso de atender las necesidades no sólo las generaciones actuales sino también las futuras. Es aquí donde se aprecia la necesidad de aplicar una metodología de enfoque sistémico, lo que significa que los fundamentos de la ingeniería ambiental incluyen conocimientos de la química, biología, matemáticas, suelo, atmósfera, ecología, sociedad, cultura, entre muchos otros. En resumen, el objetivo principal de la ingeniería ambiental es la protección del ambiente, reduciendo la degradación, preservando los elementos de éste, y en general mejorando sus condiciones.

1.1.4 Ambiente

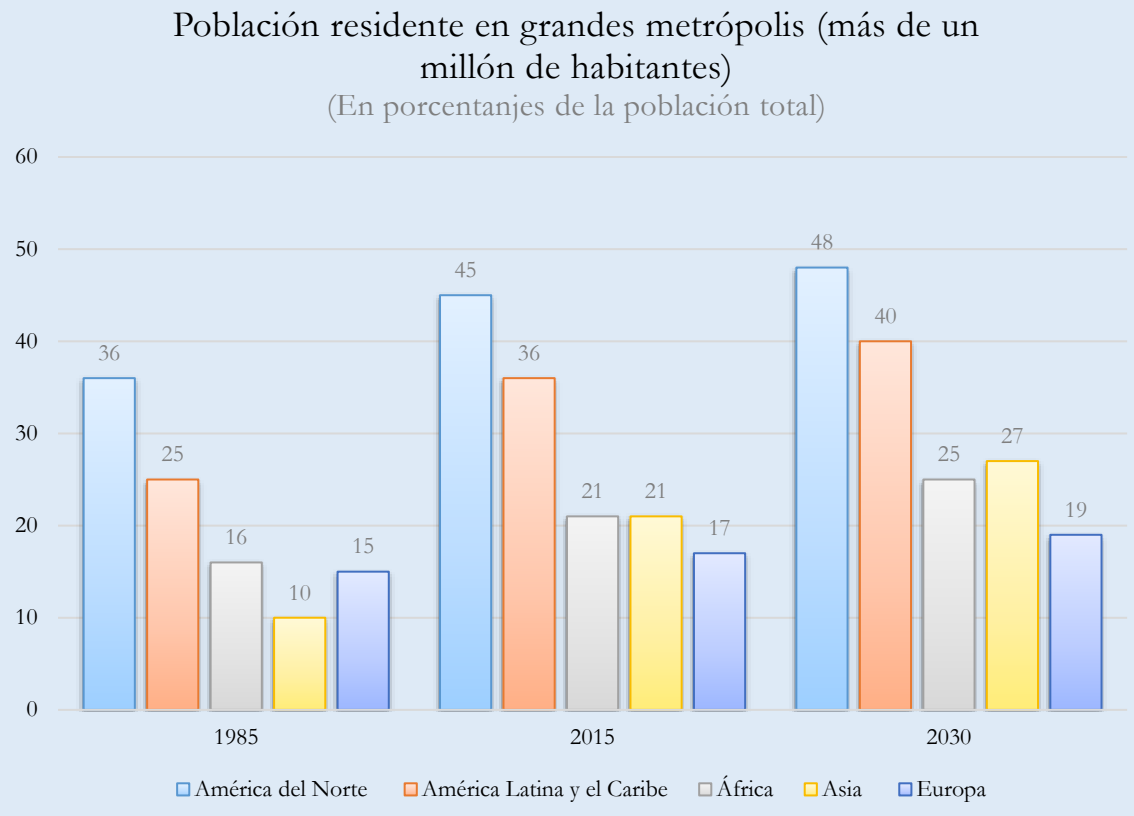
El **ambiente** es todo lo que nos rodea, incluye el conjunto de elementos naturales y/o inducidos por el hombre que interactúan en el tiempo y en el espacio. El ambiente natural sufre continuos cambios incluso si no existieran las actividades humanas, estos pueden presentarse en una escala de cientos de millones de años, como la sumergencia de los continentes y la formación de montañas; en una escala de decenas de miles de años, como la última edad del hielo y los cambios en el nivel de los mares que lo acompañaron; sobre una escala de cientos de años, como la eutroficación natural y sedimentación de los lagos poco profundos; o en un periodo de unos cuantos años como cuando una colonia de castores transforma tierra seca en (Vázquez & César, 1994). Los cambios pueden ser irreversibles, cíclicos y transitorios.

Las actividades humanas han generado también cambios en el ambiente, por ejemplo, el incremento de la población humana ha traído como consecuencia mayor consumo de recursos naturales como: agua, madera, recursos minerales; mayor consumo energético y cambios en el uso del suelo sin considerar la vocación de este o transformando los ecosistemas, y simplificándolos como, por ejemplo, el caso de los agroecosistemas para la producción de alimentos. Otro fenómeno importante que ha alterado significativamente al ambiente es la urbanización, consistente en el incremento de áreas con alta densidad de población, las cuales demandan una gran cantidad de recursos que se traen de regiones cercanas o en ocasiones lejanas a las ciudades, además de los residuos, recuadro 1.2. Este tema se desarrollará a profundidad en la sección 2.5.

Recuadro 1.2
La urbanización

En 2008, por primera vez, la mayoría de la población mundial vivía en zonas urbanas. La creciente urbanización fue acompañada por el crecimiento de megaciudades con más de 10 millones de habitantes y de ciudades de gran tamaño con más de un millón de habitantes —las llamadas ciudades millonarias—. En 1950 existían solo 2 megaciudades (Tokio y Nueva York) y 77 ciudades millonarias. Actualmente hay 29 megaciudades y 501 ciudades millonarias, y se proyecta que durante el período de los ODS (objetivos del desarrollo sustentable) se creen 12 megaciudades y 160 ciudades millonarias.

Un porcentaje cada vez mayor de la población mundial vive en las grandes urbes (véase el gráfico). Mientras en 1950 solo el 7% vivía en ciudades de gran tamaño, en 2030 el 27% vivirá en una gran metrópoli. América Latina y el Caribe es la región en la que esta tendencia se observa con mayor claridad: en 1985, el 25% de la población vivía en ciudades con más de un millón de habitantes, hoy la cifra alcanza el 36% y al final del período de los ODS será del 40%. De las diferentes regiones, solo América del Norte ya supera esta cifra con un 45%. También en Asia y África hay un sólido crecimiento de la población que pasa a vivir en ciudades de más de un millón de habitantes: en Asia, el 21% de la población vive en una gran urbe (el doble del 10% registrado en1985), mientras que en África se ha pasado del 16% al 21% en el mismo lapso.



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, sobre la base de Naciones Unidas, World Urbanization Prospects: The 2004 Revision Highlights (ST; ESA; SER. A352), Nueva York, División de Población 2014.

1.1.5 Contaminación

El crecimiento de la población mundial, el incremento en el número y diversidad de actividades industriales y el fenómeno de urbanización han generado enormes presiones en el consumo de los recursos naturales. Por otra parte, esas acciones son fuentes generadoras de contaminantes y desechos que degradan la calidad del ambiente. Entonces se tiene que por una parte el ambiente natural es el proveedor de los recursos e insumos requeridos para todas las actividades, y simultáneamente se constituye en el receptor de los contaminantes y desechos descargados al agua, atmósfera y suelo. Las sustancias y formas de energía contaminantes degradan la calidad del ambiente, afectando directamente a los ecosistemas acuáticos y terrestres, y a las poblaciones humanas, recuadro 1.3.

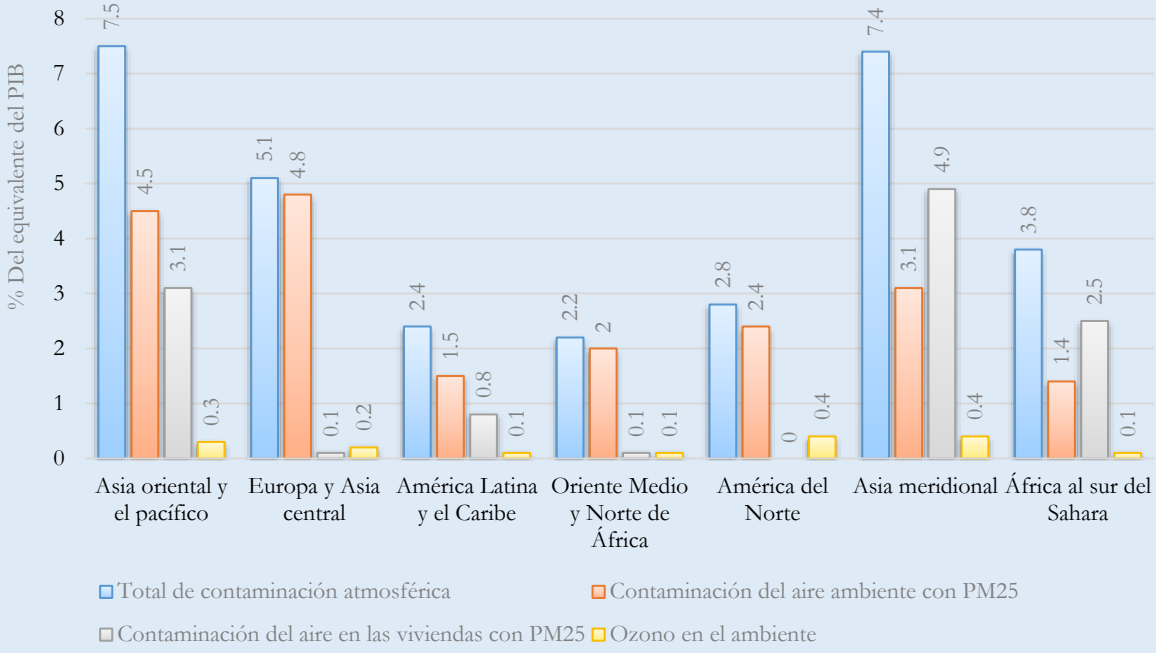
Recuadro 1.3
La contaminación atmosférica le cuesta USD 225 mil millones a la economía mundial

WASHINGTON, DC 8 septiembre, 2016 — Ciudad de Washington, 8 de septiembre de 2016. La contaminación atmosférica se ha transformado en la forma de contaminación más letal y el cuarto factor principal de riesgo de fallecimientos prematuros en todo el mundo. Según un nuevo estudio, estos fallecimientos le costaron a la economía mundial aproximadamente USD 225 mil millones en pérdida de ingresos laborales en 2013, lo que denota la carga económica de la contaminación atmosférica.

El costo de la contaminación atmosférica: Refuerzo de los argumentos económicos en favor de la acción, es un estudio conjunto del Banco Mundial y el Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME, Instituto de Mediciones y Evaluaciones de Salud), en el que se pretende estimar los costos de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica, para fortalecer los argumentos en favor de la acción y facilitar la toma de decisiones en un contexto de escasez de recursos. En 2013 se perdieron aproximadamente 5,5 millones de vidas a causa de las enfermedades asociadas con la contaminación del aire exterior o de las viviendas, lo que provocó sufrimiento humano y redujo el desarrollo económico.

Cuando se analiza el número de víctimas fatales en todos los grupos por edad desde el punto de vista de las "pérdidas de bienestar", un enfoque usado comúnmente para evaluar los costos y beneficios de la normativa ambiental en el contexto de un país determinado, el costo agregado de los fallecimientos prematuros fue de más de USD 5 billones en todo el mundo en 2013. En Asia oriental y meridional, las pérdidas de bienestar relacionadas con la contaminación del aire eran el equivalente de aproximadamente el 7,5 % del PIB.

"La contaminación atmosférica es un desafío que amenaza el bienestar humano esencial, provoca daños al capital natural y físico, y restringe el crecimiento económico. Esperamos que este estudio pueda traducir el costo de los fallecimientos prematuros en un lenguaje económico que tenga eco entre los responsables de la formulación de políticas, de modo que se destinen más recursos a la mejora de la calidad del aire. Al promover ciudades más saludables e inversiones en fuentes de energía más limpias, podemos reducir las emisiones peligrosas, ralentizar el cambio climático y, lo que es más importante, salvar vidas", dijo Laura Tuck, vicepresidenta de Desarrollo Sostenible del Banco Mundial.



Nota: Los daños derivados del total de contaminación atmosférica se refieren a la contaminación del aire ambiente con PM_{25}, la contaminación del aire en las viviendas con PM_{25}, y el ozono en el ambiente. PIB = producto interno bruto.

Fuente: (Banco mundial, 2016)

La **contaminación** es el cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, el agua y el suelo; lo que puede afectar la salud humana y la de los otros organismos, e imposibilitar el uso de los recursos en las actividades que desarrolla el hombre, además de afectar la preservación de los ecosistemas. Cabe resaltar que la contaminación puede provenir también de fuentes naturales como: erupciones volcánicas, erosión hídrica y eólica, incorporación de los constituyentes nocivos del suelo que se incorporan en el agua y que podrían interferir con sus usos, entre otros.

En el caso de la contaminación del agua, durante agosto de 2016 el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, (UNEP por sus siglas en inglés) publicó los resultados del estudio "Un vistazo de la calidad del agua en el mundo, dirigido hacia una evaluación global", en el que resalta los siguientes aspectos:

- Unos 323 millones de personas enfrentan riesgos de salud por la creciente contaminación del agua en tres continentes: África, Asia y América Latina.

- El preocupante aumento de la contaminación en las aguas superficiales de Asia, África y América Latina también amenaza con dañar fuentes vitales de alimentos y perjudicar las economías de los continentes.

- Al complicar aún más el acceso a agua de calidad, la contaminación del agua también amenaza con engendrar más desigualdad, pues golpea con mayor fuerza a las personas más vulnerables: las mujeres, los niños y las personas más pobres.

- Las principales causas del preocupante aumento de la contaminación de las aguas superficiales en Asia, África y América Latina son el crecimiento demográfico, el aumento de la actividad económica, la expansión e intensificación de la agricultura y la mayor cantidad de aguas residuales no tratadas que se descargan en los ríos y lagos.

- La contaminación patógena y la contaminación orgánica aumentaron en más de 50 por ciento de los tramos fluviales entre 1990 y 2010 en los tres continentes, mientras que la contaminación salina aumentó en casi un tercio.

- Alrededor de 3,4 millones de personas mueren cada año por enfermedades asociadas con patógenos en el agua, como el cólera, la fiebre tifoidea, la hepatitis infecciosa, la poliomielitis, la criptosporidiosis, la ascariasis y las enfermedades diarreicas. Muchas de estas enfermedades son causadas por la presencia de desechos humanos en el agua.

- Es necesario mejorar la monitorización del agua, especialmente en los países en desarrollo, para comprender la magnitud del problema en todo el mundo y poder identificar los puntos más críticos. Una vez que se hayan realizado evaluaciones exhaustivas, hay muchos métodos viejos y nuevos que pueden ayudar a reducir la contaminación en la fuente, tratar las aguas contaminadas antes de que entren en los cuerpos de agua, reciclar las aguas residuales para el riego y proteger los ecosistemas; por ejemplo, mediante la restauración de humedales para eliminar los contaminantes traídos por escorrentía urbana o agrícola.

- Alrededor de una décima parte de todos los tramos fluviales de América Latina, África y Asia ya está afectada por contaminación salina severa y moderada. Los altos niveles de salinidad producidos cuando los humanos vertimos aguas residuales salinas de minas, sistemas de riego y hogares en los ríos y lagos hacen que, para los agricultores más pobres del mundo, sea todavía más difícil irrigar sus cultivos. Entre 1990 y 2010 la contaminación salina aumentó en casi un tercio de todos los ríos de los tres continentes.

- La agricultura se ha intensificado y expandido a medida que el mundo busca la manera de satisfacer la creciente demanda de alimentos de su población en auge. Esto ha aumentado la cantidad de fósforo, proveniente de fertilizantes y pesticidas, que contamina los cuerpos de agua. La eutrofización resultante puede conducir a un auge de plantas nocivas y a la proliferación de algas, así como a cambios en la estructura del ecosistema y las especies de peces.

- Más de la mitad de las cargas totales de fósforo en 23 de los 25 lagos más importantes de todo el mundo son de origen humano: fertilizantes inorgánicos, desechos del ganado y aguas negras humanas. Hoy, en la mayoría de los grandes lagos de América Latina y África los niveles de fósforo son mayores que en 1990.

Con base en los resultados del estudio del PNUMA, en América Latina, África y Asia se puede concluir que en esas regiones del mundo hay un importante rezago en la gestión del agua. Es decir, no existe o no es adecuada la potabilización y sistemas de abastecimiento de agua potable, y los insuficientes sistemas de alcantarillado no incluyen como parte final el tratamiento de las aguas residuales. Por otra parte, se refiere en el estudio que la calidad del agua no se conoce debido a un número muy limitado de estaciones de muestreo, por tanto, esto complica el planteamiento de las soluciones posibles ya que no se dispone de un adecuado diagnóstico. Adicionalmente, el tema de la contaminación del agua afecta directamente la salud de la persona, pero causa además la contaminación de los alimentos y, en suma, afecta la economía de estas regiones. El tema de contaminación del agua se desarrolla en el Capítulo 6.

En el caso de México, la figura 1.1 muestra el porcentaje del PIB (Producto interno bruto) que se ha destinado para enfrentar la degradación y el agotamiento de los recursos, de acuerdo con el INEGI, Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas. Este porcentaje indica el aumento o disminución en el gasto de protección ambiental destinado a la degradación y agotamiento con relación al crecimiento económico del país. Sería deseable que conforme el país crece económicamente se incrementará también el gasto en protección ambiental dado que el crecimiento económico depende de la explotación de los recursos naturales y trae como consecuencia la contaminación y el agotamiento de los recursos.

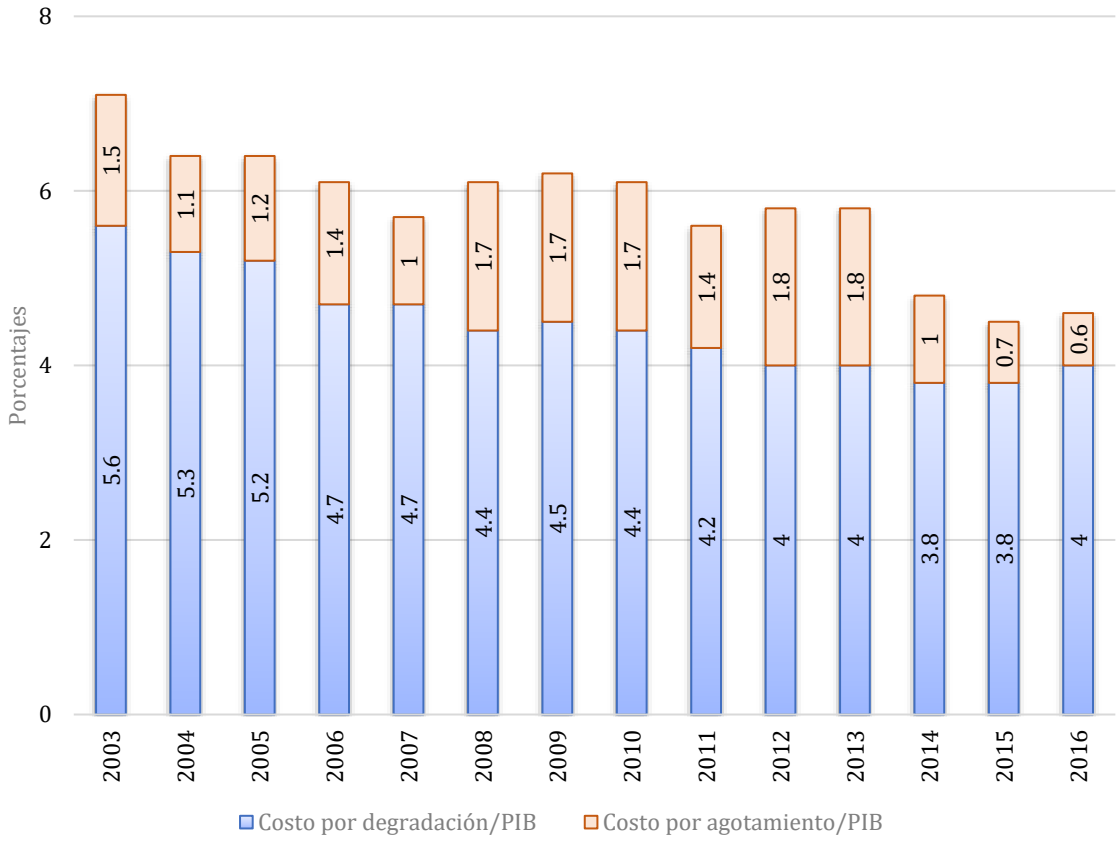


Figura 1.1. Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México. (INEGI, Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México., 2016)

1.1.6 Impacto Ambiental

Es claro que los proyectos de ingeniería civil modifican el ambiente, que como se recordará comprende todo lo que nos rodea; es el ambiente natural e inducido por el hombre (creaciones físicas humanas, abarcando la cultura y la propia sociedad). El objetivo fundamental de los proyectos es atender y resolver las necesidades y servicios que demanda la población, pero desde luego, en el logro de este objetivo se alteran, consumen, y destruyen los recursos naturales y se generan también afectaciones a sectores de la población para los cuales el proyecto no fue concebido. Es decir, al perseguir el logro de beneficios directos se presentan también perjuicios o costos directos e indirectos, recuadro 1.4.

Por ejemplo, se realiza una presa para control de inundaciones que resguardará la vida y los bienes de las poblaciones que se ubican aguas abajo, pero para lograrlo se formará un embalse en un área extensa donde hay ecosistemas y poblaciones humanas, que serán afectadas directamente por la realización del proyecto. Por otra parte, una vez que la presa se encuentre operando, reducirá el flujo de agua hacia la porción aguas abajo del río, lo cual afectará a las comunidades acuáticas y también a los ecosistemas terrestres que ahora tendrán menor disponibilidad del agua, lo cual puede causar la disminución del número de especies y sus poblaciones, estos últimos son ejemplos de costos perjuicios indirectos.

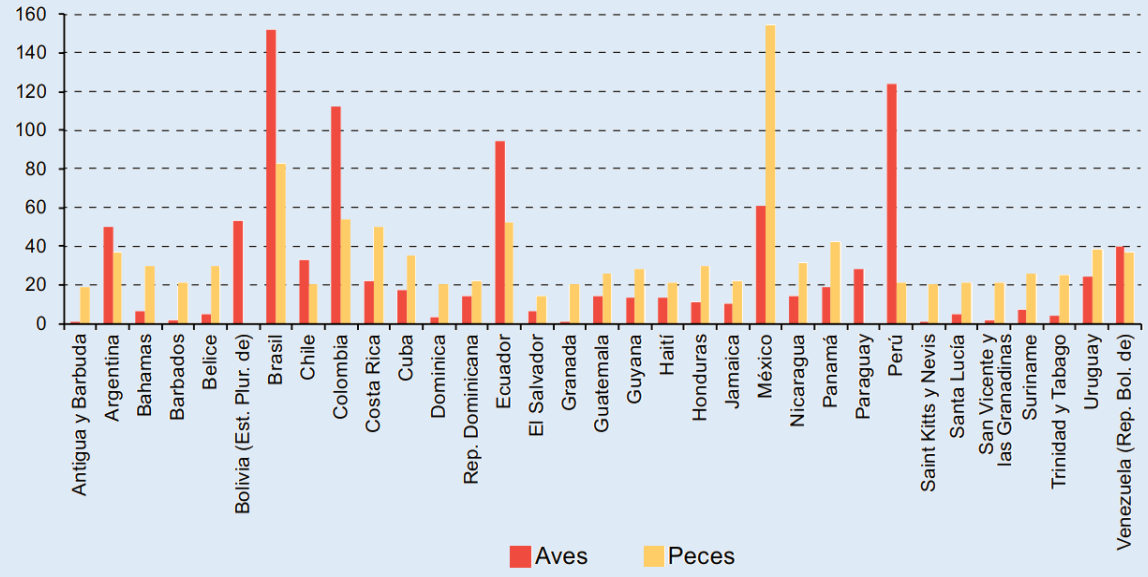
El **impacto ambiental** puede definirse como la modificación que experimenta el ambiente como resultado de la actividad humana y/o de la propia naturaleza. La ingeniería civil tiene métodos para enfrentar la situación que se plantea, y es precisamente la planeación de los proyectos. La planeación de los proyectos implica desde la identificación de un problema o una necesidad, el conocimiento a detalle del ambiente donde se realizará el proyecto y de las condiciones de las poblaciones implicadas. El ingeniero identificará las posibles soluciones (alternativas) al problema que se plantea, y luego analizará empleando herramientas de la planeación, que incluyen análisis económicos, financieros, técnicos y ambientales. Con relación al análisis ambiental, éste se realiza a través de los estudios de impacto ambiental, los que tienen como objetivo identificar y predecir y evaluar los impactos (cambios) positivos y negativos directos e indirectos que se presentarían sobre el ambiente de llevarse a cabo la alternativa de un proyecto; así como la forma de evitar, atenuar o mitigar aquellos que sean negativos. La mejor alternativa será aquella que ofrezca más beneficios y evite o reduzca los impactos negativos.

Recuadro 1.4
Un mundo en crisis ambiental

La humanidad se encuentra ante un punto de no retorno: el impacto ambiental del estilo de desarrollo dominante pone en peligro su supervivencia y la de otras especies. La destrucción del medio ambiente asociada al crecimiento económico ha sido una constante en la historia, pero en la actualidad muestra dos singularidades. Una de ellas es que su impacto no es solo local, sino que afecta a recursos comunes: la atmósfera, los océanos, las capas polares y la biodiversidad. La segunda es que, por primera vez, hay una generación consciente e informada, a partir de las evidencias científicas, de este impacto y del riesgo que las acciones humanas representan para el medio ambiente. El equilibrio ecosistémico es único y puede ser dañado irreversiblemente por causas antropogénicas. El número de seres humanos seguirá creciendo, al menos por varias décadas, a diferencia de la mayoría de las especies, especialmente los mamíferos, cuyos miembros son cada vez menos o se encuentran en peligro de extinción.

En el gráfico se muestra el número de especies de aves y peces en peligro de extinción en países latinoamericanos.

América Latina y el Caribe: especies amenazadas, por grupo taxonómico, 2013 [a]
(En unidades)



Fuente: (Comisión Económica para Amértica Latina y el Caribe (CEPAL), 2016)



Actividad 1.1
Ingeniería civil y sustentabilidad
Responde preguntas-guía sobre
Video de la ASCE "Creating infrastructure for a sustainable World"

1.2 El enfoque de sistemas. Sistemas de uso y manejo del agua; sistemas de control de la calidad del aire; sistemas de manejo de residuos sólidos

1.2.1 El enfoque de sistemas

El análisis de problemas complejos como el desarrollo de proyectos de ingeniería en los que interviene una gran cantidad de variables interdependientes y de origen multidisciplinar, entre las que se incluyen: sociales, ambientales, técnicas, económicas, legales, administrativas, y otras, requieren la aplicación del enfoque de sistemas. ¿Qué es el enfoque de sistemas?, el **enfoque sistémico** es un proceso general de análisis que permite conocer las características de un sistema, las variables que intervienen, sus interrelaciones, y las interrelaciones con otros sistemas (conjuntos sistémicos), con el objetivo de proponer las acciones adecuadas que conduzcan al logro de los objetivos planteados. El enfoque de sistemas es ampliamente usado en los diversos problemas que analiza la ingeniería ambiental, de hecho, como se recordará fue el tipo de análisis desarrollado por el Club de Roma para llevar a cabo el estudio "Los límites al crecimiento". Es un enfoque integrador, holístico, que aborda la complejidad a partir de conocer las partes y sus interrelaciones, que valora la inter-trans y multidisciplina.

El todo para el enfoque sistémico es llamado **sistema** y las partes que lo integran pueden denominarse **subsistema*s***. Un sistema es un conjunto de elementos con interrelaciones entre sí, y actuando en conjunto para el cumplimiento de la función y estructura del mismo. Un ejemplo de sistema es un ecosistema (ver Capítulo 4) integrado por el ambiente físico y el conjunto de organismos de diferentes especies; el ambiente y las especies interrelacionadas entre sí en el tiempo y en el espacio. Para que ese ecosistema mantenga su función y estructura es indispensable que los elementos que lo integran se mantengan realizando sus funciones y manteniendo sus interacciones. Otro ejemplo de sistema puede ser una célula bacteriana que mantiene sus funciones gracias a los elementos que integran su estructura y metabolismo y que sostienen una relación con el exterior que le permite mantenerse y crecer; por ejemplo, a partir de las enzimas extracelulares que promueven el ingreso al interior de la célula del sustrato (alimento), figura 1.2. Los sistemas pueden ser muy grandes o de tamaño pequeño, los sistemas forman parte de sistemas más grandes, porque todo está interrelacionado.

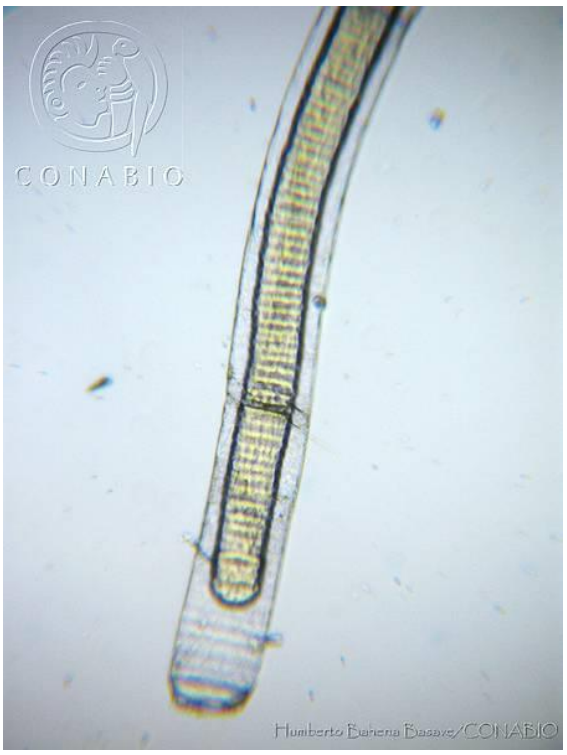


Figura 1.2. Cianobacterias, Lyngbya Sordida.
Fuente: Banco de imágenes de la CONABIO, autor Humberto Bahena Basave.

Los sistemas pueden ser abiertos y cerrados. Los abiertos son aquellos que mantienen intercambio con el exterior de materia, energía, personas, productos, desechos, etc. Los sistemas cerrados no mantienen intercambio con el exterior, estos sistemas regularmente son simplificaciones que se hacen para analizarlos. Para llevar a cabo el análisis de enfoque sistémico suelen delimitarse las fronteras del sistema para su estudio, entonces deberán considerarse las entradas y las salidas del sistema como cruces de materia, energía, personas, datos y desechos; por otro lado, dentro del sistema se cumplen las funciones que implican procesos de cambio o transformación (figura 1.3). El enfoque de sistemas también se aplica a los balances de materia y energía que se utilizan en el análisis y solución de múltiples problemas de la ingeniería ambiental, como se verá en el Capítulo 3.

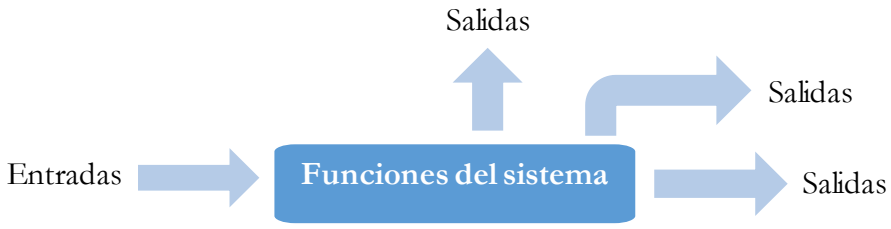


Figura 1.3. Sistema abierto

> Por su parte, los ingenieros debieran saber más de las relaciones entre su profesión y otros campos. Ambas cosas contribuirían a corregir el mayor vicio de nuestro tiempo: la especialización exagerada, que tanto en la educación como en la vida práctica confina a cada uno dentro de un saber particular y priva a todos de lo que debiera ser el objetivo central de la educación y de la vida: una visión ancha del conocimiento universal y de las relaciones entre especialidades. En algún momento el individuo educado debiera levantar la vista para mirar más allá de su propia educación y adquirir un panorama general del mundo. (Reséndiz, 2008).

Lo expresado por Daniel Reséndiz es el mejor ejemplo del enfoque sistémico, es acercarse a los problemas para analizarlos como un todo, no en forma fragmentaria, sin tener claro cuáles son los elementos del todo y cómo interactúan.

1.2.2 Sistemas de uso y manejo del agua

El agua es indispensable para las diversas formas de vida y para el desarrollo de todas las actividades productivas: abastecimiento público urbano, agricultura, ganadería, pesca, industria, generación de energía, turismo, recreación, transporte, principalmente. Es esencial que no se pierda de vista que la población humana no es el único usuario del agua, están además las comunidades acuáticas y terrestres de diversos ecosistemas que requieren el agua también en cantidad y calidad adecuada.

¿Qué elementos constituyen los sistemas de uso y manejo del agua?, en esencia incluyen la fuente de abastecimiento de agua, que puede ser superficial o subterránea, la cual es aprovechada gracias a una obra de captación; posteriormente y dependiendo de la calidad del agua, ésta podría ser tratada o en el caso del abastecimiento a una población, potabilizada. Una vez tratada o potabilizada puede ser enviada a un tanque de regularización para después ser distribuida para el consumo por la población, la industria, el comercio y las instituciones; en el caso de las zonas agrícolas el agua que es captada será

luego distribuida a través de canales de riego. Una vez utilizada el agua se transforma en agua residual, la cual ha sido degradada en su calidad incorporando, dependiendo de su uso, diversas sustancias que impiden su posterior uso directo. En el caso de los sistemas de uso y manejo del agua urbanos, el agua se descarga a un sistema de alcantarillado para ser transportada hasta una planta de tratamiento de aguas residuales para su posterior disposición en un cuerpo receptor o para su reúso. Se puede apreciar que los elementos de los sistemas de uso y manejo del agua incluyen varios subsistemas (obras de captación, de tratamiento o potabilización, de distribución, de recolección de aguas servidas y de tratamiento, disposición y reúso), todos interrelacionados y en cada uno de ellos con la intervención de diversas variables, la figura 1.4 muestra los elementos del sistema de uso y manejo del agua, mientras que la figura 1.5 muestra un ejemplo esquemático del mismo.

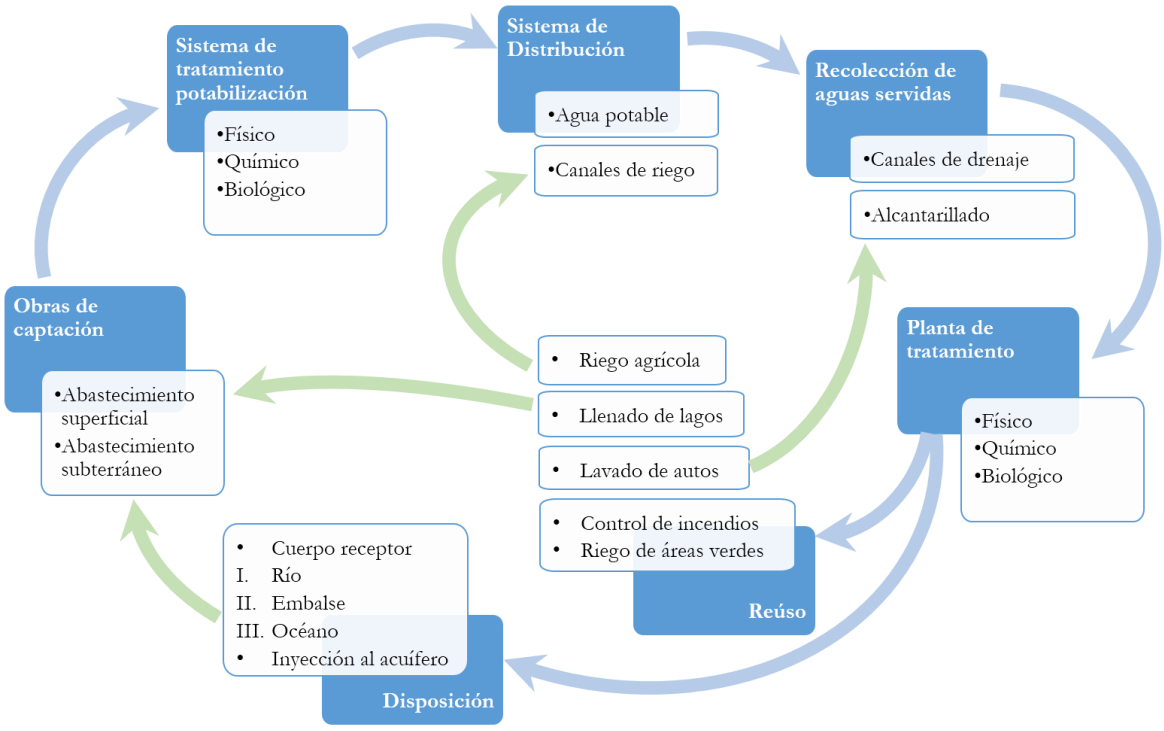


Figura 1.4. Sistema de uso y manejo del agua



Figura 1.5. Fases del ciclo urbano del agua
Fuente: (Ecosocial, 2017)

Los sistemas de uso y manejo del agua están interrelacionados con otros sistemas; considérese el caso en el que se extrae agua de áreas geográficas externas a donde se ubica el sistema de uso y manejo del agua, por ejemplo, el caso de la Ciudad de México y su área conurbada. En este caso, el abastecimiento de agua potable depende fundamentalmente del suministro de agua proveniente del acuífero del Valle de México, pero el complemento de agua de abastecimiento proviene de otras cuencas[1]: Lerma y Cutzamala. La figura 1.6 muestra los recursos hídricos que ingresan y que salen de la Cuenca del Valle de México. Este es un modelo de lo que anteriormente se ha definido como conjuntos sistémicos, la figura 1.7 es una representación del conjunto sistémico del Valle de México.

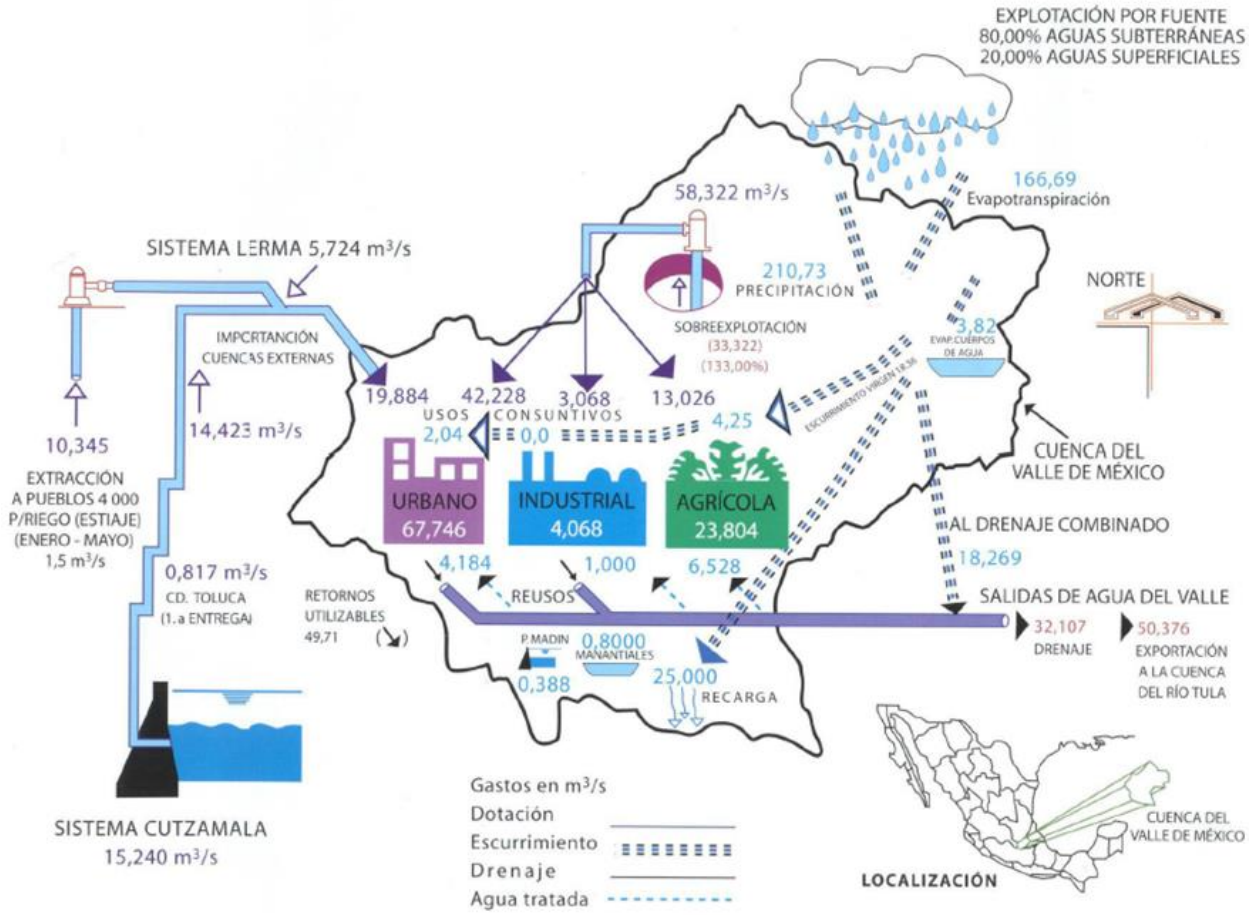


Figura 1.6. Balance hídrico de la cuenca del Valle de México
Fuente: (CONAGUA, 2006)

[1] Es la superficie terrestre drenada por un sistema fluvial continuo y bien definido cuyas aguas vierten a otro sistema fluvial o a otros objetos de agua, y sus límites están generalmente determinados por la divisoria principal según relieve" (González Piedra, 2000).



Figura 1.7. Conjunto sistémico de la Ciudad de México
Fuente: (Nexos, 2017)

En el desarrollo de los proyectos de uso y manejo del agua el enfoque que ha sido aplicado es el de gestión de los recursos hídricos, el cual esencialmente ha considerado al agua como el elemento básico de la cuenca, que debe ser optimizado y conservado. Sin embargo, dicho tratamiento no siempre ha correspondido con el enfoque sistémico, es decir no ha sido abordado bajo una concepción integral. El tratamiento en el análisis de los sistemas de uso y manejo del agua está evolucionado al enfoque sistémico, el cual es denominado como gestión integral de cuenca, que tiene como objetivo optimizar y conservar la región geográfica denominada cuenca, en la que una de las variables es el agua. De acuerdo con el documento *Gestión Integral de Cuencas, La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas* (Centro Internacional de la Papa, Gobierno de Alemania-Ministerio de Cooperación Económica y Desarrollo -BMZ, 2007), el enfoque sistémico se diferencia del enfoque sectorial en que estudia y actúa sobre la cuenca teniendo en cuenta todas sus partes y tratando de hacer modificaciones para optimizar el sistema. En este enfoque es tan importante considerar el papel particular de cada uno de los elementos constitutivos del sistema (agua, suelo, clima, vegetación, fauna, ser humano, nevados), tanto como la interacción entre éstos como un todo, pues así se podrá conocer la dinámica real y generar cambios que afecten su desempeño.

Las interrelaciones entre subsistemas y conjuntos sistémicos involucran diversas variables de carácter social, ambiental, técnico y económico. Se enuncian a continuación las principales de cada grupo.

Social

- En la etapa de planeación de los sistemas de uso y manejo del agua es fundamental que el ingeniero haga un análisis detallado y cuidadoso de los antecedentes locales y regionales relacionados con la zona del proyecto, procurando identificar alternativas que eviten o minimicen los conflictos en torno al agua y previendo las medidas de contención apropiadas.

- Considerar la población beneficiada con el sistema de uso y manejo del agua

- Analizar las poblaciones que eventualmente podrían tener menor disponibilidad del agua porque la extracción de la fuente reduzca la disponibilidad en otras zonas

- Estimar las poblaciones afectadas en aspectos sanitarios, de productividad y económicos debido a que la fuente de abastecimiento pueda ser contaminada porque el sistema de alcantarillado esté incompleto y no incluya una planta de tratamiento de aguas residuales

- Incidir en el compromiso del usuario del agua en cuanto a su cuidado, procurando un comportamiento no derrochador.

Ambientales

- Evaluar la presencia de ecosistemas como los bosques, que reducen la erosión y depósito de sedimentos en los cuerpos de agua superficiales, lo que coadyuvará a la conservación de la calidad y disponibilidad del agua de las fuentes.

- Hay que considerar que la modificación de la cubierta vegetal en la cuenca puede provocar cambios en la erosión y la compactación del suelo, lo cual puede afectar el escurrimiento superficial del agua, su infiltración y el aporte de sólidos en suspensión a los cuerpos de agua superficiales.

- Reflexionar que la afectación a la calidad y cantidad del agua modifica el medio donde se desarrollan los ecosistemas acuáticos y terrestres, y en consecuencia podría haber modificaciones a la estructura y función de los mismos.

- Tener presente que las obras que intervienen en el régimen hídrico tales como las de riego y drenaje, las que crean cuerpos de agua superficiales (embalses), las que modifican los cursos de agua para rectificación de cauces; alteran la cubierta vegetal, el escurrimiento, la infiltración, cambian el uso del suelo, por ejemplo, aquellos ocupados por ecosistemas, por actividades agrícolas, etc.

Técnico y económico

- Los proyectos de uso y manejo del agua son financiados por el gobierno en la mayoría de los casos, y se otorga el financiamiento para un proyecto como puede ser alguno de los citados al inicio de esta sección, en donde los recursos económicos están restringidos al proyecto específico. Sin embargo, el proyecto se enmarca en una cuenca hidrológica en la que existen diversas variables interrelacionadas que tienen que ser identificadas, reconocidas sus interrelaciones y seguramente analizadas desde la perspectiva espacio-temporal. Por tal motivo, los recursos económicos pueden estar limitados a la ejecución de un proyecto, perdiendo la perspectiva regional. El enfoque sistémico tan necesario para mejorar y conservar la cuenca, y por supuesto una de las variables de ella "el agua", está restringido por la asignación de los recursos económicos.

- El enfoque sistémico también se ve afectado por la planeación, ya que está asociada también a un proyecto en particular. Los objetivos, las actividades y la ejecución de las mismas no se corresponden con lo requerido por el enfoque sistémico.

1.2.3 Sistemas de control de la calidad del aire

Recuérdese que el crecimiento de la población mundial, el incremento en el número y diversidad de actividades industriales y el fenómeno de urbanización ejercen enormes presiones en el consumo de los recursos naturales y adicionalmente generan contaminantes y desechos que degradan la calidad del ambiente: agua, atmósfera y suelo. En esta sección se desarrolla el tema de los sistemas de control de la calidad del aire, asociados a los contaminantes descargados a la atmósfera.

¿Por qué es importante la calidad del aire?, el aire está contenido en la atmósfera que es una mezcla de gases que rodea a la Tierra, y que permite la vida. Por una parte, la capa de ozono localizada entre los 15 y 50 km de altura absorbe los rayos ultravioletas de la radiación solar, lo que protege la vida en la Tierra gracias a reduce la exposición a esta radiación dañina. La atmósfera en su conjunto actúa como regulador del clima en la Tierra reduciendo las diferencias de temperatura entre el día y la noche. y su composición que incluye 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de gases traza (vapor de agua, bióxido de carbono y metano, principalmente) proveen las condiciones para el desarrollo de vida en el planeta. El aire que respiramos contenido en la troposfera con espesor de entre 10 y 15 km a partir de la superficie terrestre, puede modificar su composición y calidad debido a la emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de actividades del transporte, industria, desechos municipales y agropecuarios, y usos habitacionales. Dependiendo de la fuente de emisión los contaminantes pueden variar, aquellos que son emitidos directamente por la fuente (automóviles, chimeneas) son denominados **contaminantes primarios** (óxidos de azufre (SOx), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), partículas e hidrocarburos (HC*)*); mientras que aquellos que son el resultado de reacciones químicas que ocurren en la atmósfera entre contaminantes primarios son denominados **contaminantes secundarios** (ozono (O3) y lluvia ácida).

Los contaminantes primarios y secundarios afectan de diversas formas la salud de las personas, de los ecosistemas y causa el deterioro de los edificios y monumentos. Con respecto al impacto de los contaminantes atmosféricos en la salud humana se refieren a continuación algunos datos consultados de una nota informativa de la Organización Mundial de la Salud (Organización Mundial de la Salud, 2016):

- La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad[2] derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma.

- Cuanto más bajos sean los niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo.

- Según estimaciones de 2012, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3 millones de defunciones prematuras.

- Además de la contaminación del aire exterior, el humo en interiores representa un grave riesgo sanitario para unos 3000 millones de personas que cocinan y calientan sus hogares con combustibles de biomasa y carbón. Incorporar lo relativo a sistemas de control, de emisiones.

Por otro lado, el resumen ejecutivo del proyecto Diseño de una estrategia integral de gestión de la calidad del aire en el Valle de México 2001-2010 (Massachusetts Institute of Technology, 2004), expresa que: Una baja calidad del aire representa un costo significativo en la salud de los habitantes de la Ciudad de México. La evidencia epidemiológica indica que de los contaminantes mejor estudiados (e.g. materia particulada, ozono, CO, NO_2, y SO_2) son las partículas, seguidas por el ozono, las que causan los impactos más severos en salud.

Se ha establecido hasta aquí la importancia de la calidad del aire para la vida, también de las actividades que producen contaminantes atmosféricos y de sus posibles efectos, pero hay otros aspectos que deben ser considerados en el análisis de los sistemas de control de la calidad del aire bajo un enfoque sistémico. La calidad del aire varía significativamente en el tiempo y en el espacio, esto es debido a que puede ser afectada principalmente por la meteorología y por las características geográficas. Los variables meteorológicas determinan el movimiento y dirección de las masas de aire, las condiciones de estabilidad o inestabilidad atmosférica y el grado de dispersión de los contaminantes, por ejemplo, la velocidad y dirección del viento determinan hacia dónde pueden movilizarse los contaminantes emitidos por diversas actividades, en el caso de la precipitación pluvial actúa como un sistema de lavado de la atmósfera. Por otra parte, las características geográficas determinan si es factible que los contaminantes atmosféricos puedan ser movidos por el viento hacia otras zonas geográficas, las montañas, por ejemplo, pueden reducir la velocidad del viento y en el caso de que se presente una atmósfera estable (sin movimiento vertical) los contaminantes de un valle no podrán ser movilizados hacia afuera. En el caso de las zonas urbanas, las edificaciones aumentan la rugosidad de la superficie terrestre disminuyendo la velocidad del viento.

[2] Proporción de personas que enferman en un sitio y tiempo determinado, Diccionario de la Real Academia de la lengua.

Las fuentes de emisión, el tipo de contaminantes, las características meteorológicas y geográficas determinan si los contaminantes atmosféricos afectan local, regional o globalmente. A nivel global las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que incluyen bióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), principalmente, están relacionados con el cambio climático global, que se explica en la sección 4.5 de este libro. Por tanto, el comportamiento de los contaminantes atmosféricos debiera analizarse mediante subsistemas, que son los elementos y sus interrelaciones, actuando en conjunto. Estos elementos son: las fuentes de emisión y métodos de control, los tipos de contaminantes y sus efectos (salud humana, ecosistemas y materiales), características meteorológicas y geográficas para una determinada condición espacio-temporal. Pero, considerando además que los contaminantes pueden movilizarse de una región geográfica a otra, será necesario el análisis de las interrelaciones con otros sistemas (conjuntos sistémicos) que además involucran variables de carácter social, ambiental, técnico y económico, en los varios sistemas. La figura 1.8 representa un sistema que determina la calidad del aire, mostrando sus subsistemas.

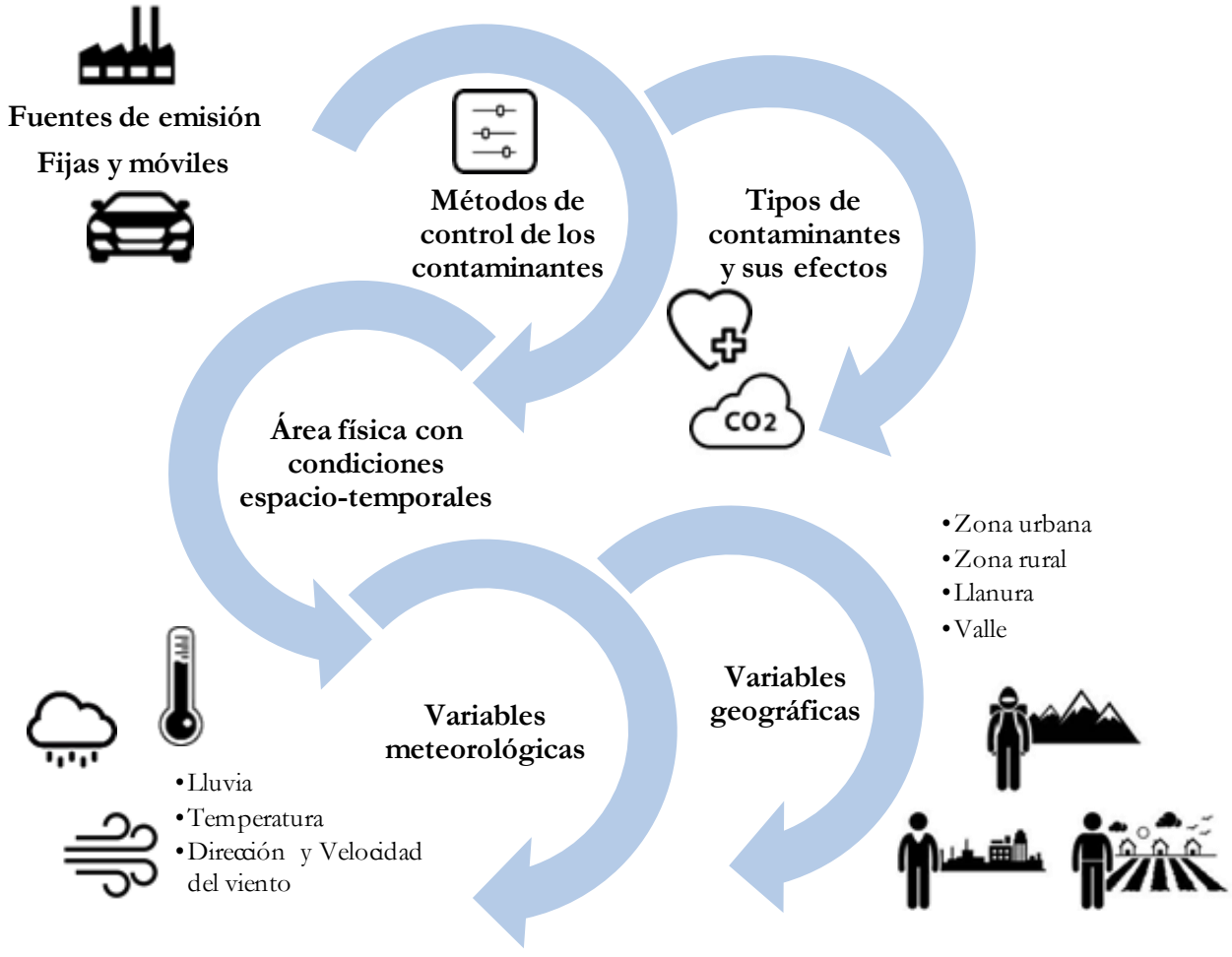


Figura 1.8. Subsistemas que determinan la calidad del aire y sus efectos

El tema de la calidad del aire es complejo dados los elementos, sus interrelaciones y las que se presentan entre varias áreas geográficas (sistemas), el estudio de la calidad del aire bajo un enfoque sistémico es fundamental. Un ejemplo en la búsqueda de la aplicación de ese enfoque puede identificarse en la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAMe), la que con base en la información ofrecida en su portal (CAMe, s.f.) que a la letra dice:

> Es un organismo de coordinación política constituido el 23 de agosto del 2013, mediante un Convenio de Coordinación entre el Gobierno Federal por conducto de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y los Gobiernos del Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala, con el objeto de llevar a cabo la planeación y ejecución de acciones en materia de protección al ambiente, de preservación y restauración del equilibrio ecológico en la región que se extiende a las 16 Delegaciones del Distrito Federal, y 224 municipios en total entre el Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala. Cuya misión es diseñar, coordinar, concertar y catalizar programas y acciones que contribuyan a la protección, restauración y preservación del equilibrio ecológico de la región de la Megalópolis del centro de México.

La CAMe fue concebida para protección del ambiente, preservación y restauración de una región geográfica que abarca seis entidades federativas, en la que el tema del control de la calidad del aire es uno de los varios temas ambientales de su interés, los otros aspectos de su competencia son: acciones de mitigación ante el cambio climático, la gestión integral de recursos hídricos, la conservación y restauración de la biodiversidad.

1.2.4 Sistemas de manejo de residuos sólidos

Un comunicado de prensa (Banco Mundial, 2012) relativo al informe What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management (Menudo desperdicio: Un examen mundial de la gestión de los residuos sólidos) realizado por la Unidad de Desarrollo Urbano y Gobierno Local también del Banco Mundial, establece que se presentará un marcado incremento en la cantidad de basura generada por residentes urbanos entre el año 2012 y 2025. El informe estima que la cantidad de residuos sólidos de los municipios (RSM) aumentará del nivel actual de 1,300 a 2,200 millones de toneladas al año, y que el mayor aumento se producirá en las ciudades con rápido crecimiento de los países en desarrollo. Se prevé que el costo anual de la gestión de residuos sólidos aumentará de los US$205 000 millones actuales a US$375,000 millones, y que el aumento más fuerte del costo se registrará en las ciudades de ingreso bajo.

El informe muestra que el crecimiento más rápido de la cantidad de residuos sólidos de los municipios se registra en China (que superó a los Estados Unidos como mayor generador de residuos del mundo en 2004), otras zonas de Asia oriental y partes de Europa oriental y Oriente Medio. Las tasas de crecimiento de los RSM en estas regiones son similares a sus tasas de urbanización y de aumento del producto interno bruto. Existe una correlación directa entre el nivel de ingreso per cápita en las ciudades y la cantidad de residuos per cápita que se generan. En general, con la urbanización de un país y la mejora de la salud de las poblaciones, aumenta el consumo de materiales inorgánicos (por ejemplo, plástico, papel, cristal, aluminio), mientras que disminuye la proporción relativa de materia orgánica. El informe también contiene recomendaciones sobre políticas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, muchas de las cuales se derivan de las prácticas ineficientes de gestión de

los residuos sólidos. Se estima que los residuos producidos después del consumo representan casi el 5% de las emisiones mundiales totales de gases de efecto invernadero, mientras que los rellenos sanitarios generan el 12% de las emisiones mundiales totales de metano.

¿Cómo está integrado un sistema de manejo de residuos sólidos, cuáles son sus elementos o sus subsistemas? El primer elemento corresponde a lo que se denomina la generación de los residuos, la cual como puede apreciarse de la información del informe del Banco Mundial depende fundamentalmente del fenómeno de urbanización, y del ingreso per cápita. La generación es la cantidad de residuos producidos por persona al día, de acuerdo con un comunicado de prensa (CONACYT, 2016) en México se estimaba que en 2004 cada mexicano aportaba 0.90 kilogramos diarios, cifra que en 2005 ascendió a 0.91 y para 2010 alcanzaba ya los 0.96 kg/d. En 2015, la generación per cápita superó el kilogramo (1.01) y se estima que hacia el 2020 alcance 1.6 kilogramos diarios por habitante. El siguiente elemento del sistema se denomina almacenamiento, etapa en la que los residuos se mantienen en el sitio donde se generan antes de que el camión recolector recoja los residuos, es de gran importancia para seleccionar el equipo de recolección y para el diseño de itinerarios de recolección e instalaciones de gestión de residuos. La recolección es función del número de camiones recolectores y de su frecuencia para recoger los residuos. La planeación adecuada de la frecuencia de recolección deberá tomar en cuenta los siguientes aspectos: cantidad de residuos generados en la localidad, composición de los residuos, clima y estaciones del año o bien días festivos, características geográficas del lugar. Posteriormente el subsistema que puede requerirse es el de una estación de transferencia, que es el conjunto de equipos e instalaciones donde se hace el traslado de los residuos sólidos de un vehículo recolector a otro vehículo con mayor capacidad de carga, el cual transportará finalmente dichos residuos hasta su destino final (relleno sanitario). El sistema puede incluir como uno de sus elementos una planta de selección de subproductos donde los residuos que por sus características puedan ser reciclados son separados, y posteriormente vueltos a incorporar al ciclo productivo. En el caso de la materia orgánica puede ser tratada mediante composteo que produce un material que sirve como abono o mejorador del suelo. La ventaja principal del reciclado y del composteo es la reducción del espacio necesario para la disposición final o prórroga de vida útil del sitio. La figura 1.9 muestra los subsistemas del sistema de manejo de residuos sólidos.

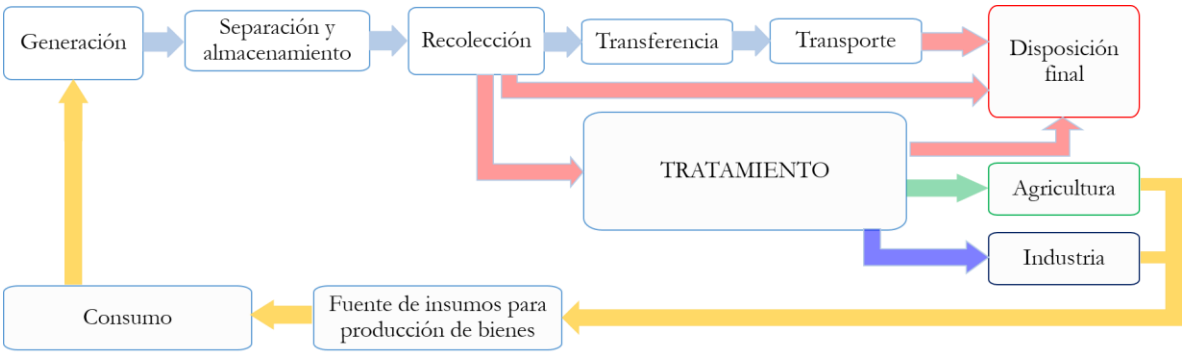


Figura 1.9. Sistema de manejo de residuos sólidos

¿Cuáles son los principales problemas que enfrentan los sistemas de manejo de residuos sólidos?, en la generación es la reducción "el mejor residuo es aquel que no se genera", en el almacenamiento es la separación adecuada de los residuos y la preservación de sus características para su eventual reciclado. En el caso de la recolección, vehículos con capacidad suficiente para recolectar de manera oportuna y con características adecuadas para transportar los residuos clasificados, en el caso del relleno sanitario la dificultad radica en el tratamiento adecuado de gases y el óptimo tratamiento de líquidos producidos por la descomposición de los residuos (lixiviados).

Como puede apreciarse el sistema resulta bastante complejo, por la cantidad de variables de carácter social, ambiental, técnico y económico que intervienen. Los conjuntos sistémicos se ejemplifican en el recuadro 1.5 a través de un estudio de caso.

Recuadro 1.5
Manejo de los residuos sólidos urbanos en la zona metropolitana de la Ciudad de México

Al día de hoy, la Zona Metropolitana del Valle de México produce 21,000 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos, de las cuales 12,500 pertenecen al Distrito Federal y son recibidas por los rellenos sanitarios del Bordo Poniente y Santa Catarina, en el Estado de México y la planta de selección de San Juan de Aragón (Sheinbaum, 2008).

Esta peculiaridad coloca al Distrito federal en una posición de negociación con los gobiernos estatales y municipales vecinos, y a estos últimos con la responsabilidad no sólo de administrar los centros de disposición final, sino de la posterior coordinación territorial de estas zonas, una vez que han alcanzado su vida útil y del control del crecimiento de la mancha urbana hacia ellos y de sus respectivos asentamientos irregulares.

Fue por ello que, en el marco de cooperación metropolitana, el entonces Jefe de Gobierno del Distrito Federal, Marcelo Ebrard Casaubón, el 28 de abril del 2008, acordó la creación de la Comisión para la Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Ciudad de México como órgano interinstitucional que sirviera de conciliador entre esta gran cantidad de intereses generados por la industria de los desechos sólidos.

En su artículo Octavo, se prevé la facultad a la comisión para "Coordinarse con la Secretaría de Gobierno y las instancias federales, estatales y municipales […]" para proponer "[…] la adopción de estrategias y políticas metropolitanas enfocadas a atender de manera integral la generación, manejo, tratamiento, minimización, aprovechamiento y disposición final de residuos;".

CONCLUSIÓN

Perfectible en muchos aspectos, esta comisión representa un paso importante para la administración urbana en materia de residuos sólidos, toda vez que la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de 2003 y la propia normatividad de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales mexicana, quedaron rebasadas por las particularidades que representa una metrópoli como la Ciudad de México.

La gestión intermunicipal, sin embargo, sigue quedando en muchos casos a la deriva y a disposición de las voluntades de diferentes actores políticos que pueden frenar o buscar sacar partida de la

negociación para la ubicación y la posterior administración de los sitios de disposición final de los residuos sólidos urbanos.

Es por ello que respetando la soberanía de los municipios que emana del artículo 115 constitucional, resulta fundamental para la planeación del desarrollo urbano, la revisión de los distintos instrumentos y en su caso, la adopción de modelos como el metropolitano de la Ciudad de México, para poder tener una eficiente administración y operación urbana en nuestros centros de población.

Fuente: (Quintana, 2015)



Actividad 1.2
A partir de la visita a la página del ECOPUMA (http://ecopuma.unam.mx/)
Responde las preguntas



Actividad 1.3
Índice IESE, Cities in motion (ICIM)
A partir del documento Índice IESE, Cities in motion, PDF (https://bit.ly/2s8Lj5Q**)**
Responde las preguntas



Actividad 1.4
Índice IESE, Cities in motion (ICIM) México
A partir del documento Índice IESE, Cities in motion en PDF y de la página web de Cities in Motion, https://citiesinmotion.iese.edu/indicecim/, contesta las preguntas.

1.3 Desarrollo sustentable

Puede considerarse que es a finales de los años sesenta y principios de los setenta cuando empieza a configurarse el concepto de desarrollo sustentable. Recuérdese que el Club de Roma se funda en 1968 por científicos y políticos preocupados por garantizar el futuro del mundo, pero que también buscaba sensibilizar a los políticos de los países con mayor uso y abuso de los recursos naturales sobre una posible crisis ambiental mundial. Posteriormente en 1971 un grupo de expertos se reúne en Suiza para redactar un documento que serviría de referencia para los trabajos de la Conferencia sobre el Medio Humano de la Organización de Naciones Unidas (ONU) realizada en 1972. En esta Conferencia el tema central fue la pobreza y en torno a esta temática se definieron 6 ejes: agua, salud, vivienda, higiene, nutrición y catástrofes naturales. Se aceptaba en esta conferencia que en el estudio de los temas ambientales debería incluirse la esfera social y no solamente la ecológica.

Como se señaló en la sección relativa a la ingeniería ambiental de este capítulo, es en ese mismo año cuando el Club de Roma presenta el estudio sobre Los Límites del Crecimiento elaborado por un equipo encabezado por el profesor Meadows del Instituto Tecnológico de Massachussets. Estos dos antecedentes motivaron varias acciones por parte de diversos sectores de la sociedad de todo el mundo. Por una parte, las poblaciones principalmente de países desarrollados formaron organismos no gubernamentales (ONG) nacionales e internacionales, las instituciones internacionales como la ONU realizaron diversas conferencias sobre el tema ambiental y los gobiernos de los países desarrollados propusieron las primeras leyes sobre temas ambientales y fundaron agencias gubernamentales para la atención de los aspectos ambientales.

La Conferencia sobre el Medio Humano de la (ONU) realizada en 1972, reconoció al ambiente como el hábitat mundial del hombre y como un tema de interés a nivel internacional. Una recomendación de la Conferencia de Estocolmo de la ONU, fue la creación del PNUMA, cuyo objetivo es el de coordinar actividades relativas al medio ambiente y brindar asesoría en políticas medioambientales. El PNUMA se fundó en el mismo año de la conferencia (1972), con sede en Nairobi, Kenia.

Más tarde en 1983, la ONU establece la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo bajo la dirección de la Dra. Gro Harlem Brundtland quien era ministra ambiental de Suecia. El objetivo que se planteó la Comisión fue analizar y replantear las políticas de desarrollo económico, ya que se reconocía que los logros en el tema social se habían dado a costa de sacrificar los recursos naturales. Después de 3 años la Comisión denominada Brundtland entregó su informe denominado "Nuestro Futuro Común" donde se define por primera vez el término desarrollo sustentable, definiéndolo como: *"Aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones"*, incorporando en el concepto los temas ambiental, social y económico.

1.3.1 El concepto de sustentabilidad

El concepto de sustentabilidad planteado por la Comisión Brundtland expone en forma clara y sencilla lo que debe entenderse por desarrollo sustentable, en esencia se fundamenta en el principio ético de la **equidad**, que establece que todos los seres humanos tenemos los mismos derechos fundamentales. Involucra también otro principio ético, el de la **responsabilidad** que implica el compromiso de buscar el bien, maximizando beneficios y reduciendo la posibilidad de daños. Precisamente cuando se busca esto último, estamos ante otro principio ético, el de **prevención** y de **cautela**, lo que se refiere a que cuando se pretende realizar un proyecto de ingeniería para resolver un problema o satisfacer una necesidad, deben preverse los posibles daños o problemas, con el objetivo de evitarlos en el mejor de los casos, o de reducirlos y tenerlos bajo control. Lo cual supone, un enorme reto ya que el sistema en estudio es extraordinariamente complejo ya que incluye múltiples variables interrelacionadas entre sí y de ámbitos del conocimiento diversos como los temas sociales, ecológicos, técnicos y económicos entre otros; pero que además son cambiantes en el tiempo y en el espacio. A esto se refiere el principio de **cautela**, lo que implica que, aun habiendo incluido la participación rigurosa de diversos expertos en los ámbitos del conocimiento mencionados, existe cierto grado de incertidumbre sobre lo que habrá de ocurrir. Por ello, resulta indispensable que como parte de las herramientas disponibles para el logro de la sostenibilidad se incorpore el seguimiento de las acciones o proyectos, lo que además

permitirá adoptar medidas de control en el caso de que se presenten perjuicios no previstos. Por otra parte, cuando la Comisión Brundtland plantea el concepto de desarrollo sustentable como *"Aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones"* se apoya en un principio ético ambiental que se fundamentan en el de equidad, el de la **conservación de la biodiversidad.** En esencia este principio supone la conservación de la riqueza de los recursos naturales resultado de millones de años de evolución y de las diferencias genéticas de cada especie en los ecosistemas, el ser humano forma parte de este entramado. Por tanto, cuando se habla de biodiversidad se incluye también el imperativo de preservar las diferentes formas de organización humana que han ido evolucionando para adaptarse a diversas condiciones. La protección de la diversidad es esencial para garantizar el desarrollo sustentable. En el capítulo IV "Ingeniería y principios de ecología" de este libro podrá estudiarse con detalle porque es importante preservar la diversidad biológica y humana, recuadro 1.6.

Nuestro país posee una riqueza excepcional en cualquiera de los tres niveles en los que se estudia la biodiversidad. Se calcula que entre 10 y 12% de las especies del planeta habitan en los ecosistemas mexicanos, lo que lo coloca entre los primeros cinco países más ricos en plantas, anfibios, reptiles y mamíferos (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008). En lo que a diversidad de ecosistemas se refiere, ocupa junto con Brasil y Perú los primeros lugares de Latinoamérica, y junto con ellos, la India y China, los primeros a nivel global (Dinerstein et al., 1995; Rzedowski, 1998). A nivel genético, aun cuando faltan todavía muchos grupos biológicos por explorar, la información que se tiene sobre algunos muestra un variado acervo genético, como en el caso de los pinos, encinos o algunas especies de plantas y animales.
de importancia económica como el maíz, la calabaza y ciertas aves y mamíferos (ver Piñero et al., 2008).
Fuente: (SEMARNAT E INEGI, 2012)

Recuadro 1.6
Sistema Nacional de Monitoreo de la Biodiversidad

La enorme riqueza biológica que México presenta conlleva una gran responsabilidad en su cuidado. Empatar la conservación y aprovechamiento sustentable de esta megadiversidad con las necesidades nacionales de desarrollo social y económico implica un gran reto. Una política inteligente para el manejo sustentable de recursos naturales solo puede generarse con base en la disponibilidad de información puntual, confiable y actualizada. Esta información obtenida de manera sistemática a lo largo de todo el territorio mexicano no ha sido generada hasta ahora.

Demostrando el compromiso de México en este tema, el gobierno federal a través de la CONABIO en conjunto con la CONAFOR y la CONANP han coordinado un esfuerzo sin precedentes para generar y mejorar no solo la cantidad de información relativa a la biodiversidad, sino también la puntualidad y la diseminación a la ciudanía creando el Sistema Nacional de Monitoreo de la Biodiversidad. Este sistema resulta el más ambicioso y extenso del mundo, permitiendo generar estadísticas anuales necesarias para la gestión sustentable del país y constituir la base para la formación de científicos mexicanos en técnicas y tecnologías de punta para el manejo sustentable del planeta.

Bajo el marco de esta cooperación cada una de las agencias confirma su compromiso mediante acciones y financiamiento puntuales. La CONAFOR contribuye con los datos del inventario nacional forestal y de suelos. Al mismo tiempo, esta agencia al igual que la CONANP administran los equipos y financian la logística necesaria para colecta de datos en campo. La CONABIO a su vez genera el sistema de almacenamiento y procesamiento de datos y, en conjunto con investigadores y expertos nacionales e internacionales, lleva a cabo el análisis de estos. Esta

colaboración permitirá generar reportes anuales nacionales e internacionales para informar a la ciudanía sobre el estado y los cambios de la riqueza natural de México.

El 2015 marca el primer año de funcionamiento operacional para monitorear in situ el estado de salud de los ecosistemas de México. Para generar un sistema costo eficiente se utiliza tecnología de punta que incluye el monitoreo remoto mediante el uso de trampas cámara y grabadoras para el monitoreo bio-acústico. Además, el sistema cuenta con protocolos de levantamiento de datos de vegetación, impactos ambientales, plagas, especies invasoras, registros extra entre otros que puedan ser utilizados en distintos ecosistemas, produciendo información estandarizada y repetible que puede ser escalable para evaluar tendencias locales, regionales y nacionales de la biodiversidad.

Los conjuntos de datos obtenidos permiten hacer análisis para llevar a cabo una evaluación del estado de los ecosistemas, así como los cambios que ocurren en estos por causas naturales o antropogénicas. La información obtenida anualmente en más de 1800 sitios a través del territorio mexicano, será accesible a través de un servicio web entre los tres socios, investigadores y la ciudadanía. Además, servirá como insumo esencial para dirigir las políticas de CONAFOR y CONANP de apoyos a los usuarios o dueños de la tierra de una manera más eficiente mediante una evaluación del impacto sobre la salud del ecosistema que estos programas tienen.

Fuente: (Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad (CONABIO), 2016)

1.3.1 Enfoque sistémico de la sostenibilidad

El hecho de que el concepto de sostenibilidad involucre los aspectos sociales, económicos y ambientales que evolucionan en el tiempo y en el espacio fundamentan la aplicación de una metodología para tratar con un enfoque sistémico el problema complejo de la sostenibilidad. Se requiere identificar aquellas acciones que cumplan simultáneamente una serie de criterios en la intersección de las tres esferas, figura 1.10.

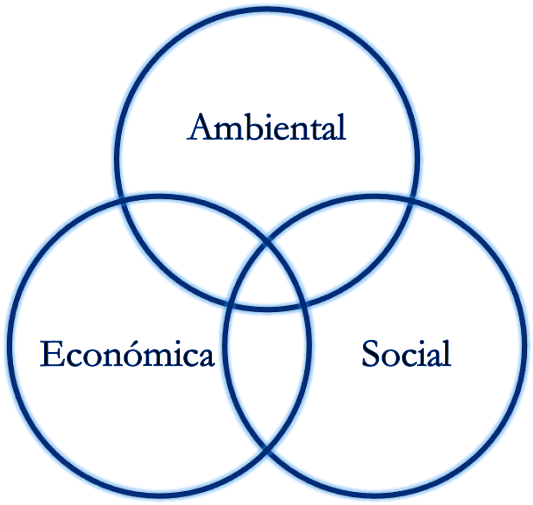


Figura 1.10. Concepto de sostenibilidad, esferas social, ambiental y económica

Tradicionalmente los proyectos han sido evaluados empleando prácticamente criterios económicos que no han incorporado en su análisis que los recursos o insumos que requieren las actividades productivas provienen del ambiente y que los residuos de la actividad (emisiones a la atmósfera, descargas al agua y residuos dispuestos en el suelo) además de los desechos producidos por el bien o servicio van a disponerse al ambiente. Siendo entonces el ambiente proveedor de recursos y a la vez receptor de residuos y desechos de la actividad, lo que ha conducido a la degradación y sobreexplotación de recursos naturales, y que a pesar de ello el resultado del análisis de rentabilidad es satisfactorio, precisamente porque no se han considerado los costos indirectos. Los costos indirectos son asumidos por algunos sectores sociales y por la propia naturaleza que ha sido rebasada en su capacidad de recuperación de sus recursos, y en la recepción y asimilación de desechos, a estos aspectos se les denomina externalidades ambientales.

Incorporar en las obras de infraestructura y los megaproyectos de inversión (particularmente los extractivos u otros vinculados con los recursos naturales) mecanismos de consulta previa, libre e informada con las comunidades afectadas, en especial en los territorios indígenas. Esto implica que los gobiernos desarrollen las capacidades necesarias para incorporar el enfoque de derechos en los proyectos de inversión pública y para tutelarlos en las inversiones privadas, asegurando que las comunidades y los territorios donde se llevan a cabo reciban parte de los beneficios.
Fortalecer la capacidad pública para prevenir y resolver el creciente número de conflictos socio ambientales vinculados al desarrollo de los sectores extractivos. La mayoría de los países de la región no han institucionalizado mecanismos de consulta y compensación que compatibilicen los derechos de las partes y de los actores sociales por la vía administrativa, evitando la judicialización de los conflictos.
Fuente: (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2015)

¿Pero qué criterios mínimos deben cumplirse de cada una de las esferas para encaminarse a la sustentabilidad? Veamos los criterios básicos para cada una de las esferas.

En la esfera social los siguientes:

- Perseguir que la actividad pueda maximizar los beneficios a los diferentes sectores sociales, y que cuando haya perjuicios para algún sector se incorporen medidas de compensación, es decir se cumpla con el principio de responsabilidad.

- La sociedad tiene el derecho a la información y participación pública, lo que implica que los promoventes de proyectos deben informar amplia y claramente sobre las acciones que se planean realizar, de tal forma que no haya dudas ni inquietudes en la comunidad que conduzcan a la conflictividad social de los proyectos. Esto por una parte beneficia la percepción que se tiene del desarrollo de proyectos de ingeniería y, por otra parte, es la oportunidad de que los ingenieros y especialistas en los diversos temas de la sustentabilidad conozcan las percepciones y necesidades de la comunidad que puedan ser incorporadas en la propuesta del proyecto para mejorarlo y además reducir los riesgos de conflicto social.

- El análisis de la sostenibilidad social debe realizarse a nivel local, regional e inclusive globalmente, porque es posible que una actividad que se evalúa a nivel local o regional sea evaluada como sustentable; y, sin embargo, cuando se analiza a nivel global no lo es. Es el caso, por ejemplo, cuando algunos bienes requeridos por la actividad son producidos a partir de la explotación de niños, sobreexplotación de trabajadores, o como cuando un recurso se extrae a una tasa mayor a su reposición, o cuando se generan residuos que no son tratados y

que afectan a las poblaciones de esas regiones del mundo de donde se traen los recursos para una actividad que se realiza a nivel local. recuadro 1.7

En la esfera ambiental a considerar las siguientes:

Recursos

- Los recursos renovables deberán ser utilizados sin que se exceda su tasa de renovación, ya que cuando se excede se estarán utilizando de forma no sustentable.

- Los recursos no renovables deberán ser utilizados a una tasa que no exceda el tiempo de agotamiento. Lo que implica que deberán hacerse previsiones de cuánto tiempo se dispone del recurso antes de que se agote para garantizar que cuando se cumpla ese tiempo se tenga un sustituto de ese recurso, y mejor aún que antes de que se cumpla ese plazo se estén utilizando ya otros sustitutos de esos recursos.

- Reducir la tasa de extracción de recursos renovables y no renovables a partir de reciclarlas en los procesos productivos, lo que además reduce el problema de disposición de residuos sólidos en los rellenos sanitarios, que no permiten la recuperación de los materiales para volver a entrar a los ciclos productivos.

Desechos que se disponen al ambiente

- Tratándose de desechos líquidos, en general no sobrepasar la capacidad de asimilación de los cuerpos receptores, lo que implica que deberán tratarse previo a su descarga. Los desechos líquidos pueden incluir contaminantes orgánicos y tóxicos, los primeros pueden ser asimilados por el cuerpo receptor, mientras que los segundos solamente pueden bajar sus concentraciones en el ambiente por la capacidad de dilución del cuerpo receptor.

- En el caso de las emisiones a la atmósfera habrá que considerar la capacidad de dispersión de la atmósfera y también la capacidad de fijación de los propios sistemas naturales, por ejemplo, la captura de CO_2 por las plantas. En cualquier caso, es necesario reducir la tasa de emisión de gases y partículas para no sobrepasar la capacidad de dispersión y fijación, lo cual puede lograrse a través de procesos más limpios y de tecnología para el control de la contaminación atmosférica.

- Para el caso de los desechos que se disponen en el suelo deberá considerarse la capacidad de asimilación del suelo, teniendo presente que en el caso de los residuos tóxicos deberán preverse algún tratamiento previo a su disposición, o incorporando las medidas de protección adecuadas para evitar la migración de los contaminantes.

Ocupación del suelo

- Considerar que el suelo tiene una vocación natural, en algunos casos el suelo sostiene ecosistemas que es indispensable proteger y preservar como el caso de los manglares,

bosques y selvas. En otros casos, el suelo es pobre para sostener algún tipo de cultivo, y en otros debido a su composición y características sostiene una importante actividad agrícola. Como parte de la evaluación de los proyectos habrá que evaluar la aptitud del sitio para sostener la actividad que se pretende desarrollar.

En la esfera económica

- En esencia no sólo debe hacerse el análisis considerando los costos y beneficios directos, sino también incluyendo los costos y beneficios indirectos (externalidades). La incorporación de los costos indirectos al análisis económico se le denomina internalización de las externalidades, cuando esto se realiza es posible que la actividad resulte inviable ya que las atenciones de los perjuicios generados pueden implicar el pago de cantidades muy significativas, que den como resultado que la actividad no sea rentable.

Recuadro 1.7
El deterioro ambiental también aumenta la desigualdad

Una de las expresiones de la pobreza y la desigualdad es la mayor vulnerabilidad de los pobres a los efectos del daño ambiental debido a su mayor exposición a esos problemas, su menor acceso a recursos y su menor capacidad de utilizar efectivamente los mecanismos políticos (Downey, 2005; Martuzzi, Mitis y Forastiere, 2010; Schoolman y Ma, 2012). Los efectos de la mayor exposición se amplifican cuando las condiciones de nutrición y salud son subóptimas, el acceso a servicios de salud es precario, no se dispone de capacidad financiera ni de acceso a mecanismos, como los seguros, para invertir en mitigación de riesgos, y no se tiene acceso a reparaciones mediante acciones judiciales (Braubach y otros, 2010; OMS, 2012). Los pobres soportan una carga más alta que se expresa en enfermedades, costos financieros por días de trabajo perdidos, pérdida de los medios de sustento e incluso la muerte. Estos efectos son barreras adicionales para la superación de la pobreza y un canal de transmisión intergeneracional de las desigualdades económicas y sociales.

Los mayores niveles de desigualdad hacen que sea más fácil externalizar los efectos de la contaminación hacia los más pobres, en lugar de invertir en tecnología y gestión para solucionar o mitigar los problemas ambientales. Quienes tienen la capacidad de evitar su propia exposición al daño ambiental lo hacen, por ejemplo, mediante su relocalización (Laurent, 2013; Boyce, 1994, 2007). De esta manera, los efectos espaciales de la desigualdad llevan a una mayor proximidad de los pobres a fuentes de contaminación. La misma dinámica se observa a escala internacional en el cambio climático, cuyos efectos se distribuyen en forma asimétrica dentro de los países y entre ellos (CEPAL, 2010b y 2014b).

La cercanía a instalaciones contaminantes, como plantas industriales o vertederos, reduce los precios de los inmuebles y esto atrae a las personas más pobres. Asimismo, las empresas tienen incentivos para ubicar sus instalaciones contaminantes en lugares donde el precio de los terrenos es menor. En algunos casos, sitios previamente ocupados por instalaciones industriales han sido convertidos, de manera planificada o mediante ocupación irregular, en áreas residenciales, sin que se resolvieran adecuadamente los pasivos ambientales. El desconocimiento de estos pasivos y sus efectos, así como la falta de alternativas, determinan que los que tienen menor acceso a la información y menor poder de compra estén más expuestos.

La desigualdad también afecta el equilibrio en la forma de consumir y ofrecer bienes y servicios como los de transporte, salud, educación, seguridad y espacios de recreación (Jáuregui, Tello Medina y Rivas García, 2012; Boyce, 2007). En sociedades muy desiguales, los servicios para un pequeño grupo de altos ingresos son producidos por empresas privadas, mientras que el sector público provee o subsidia servicios de menor calidad para la mayor parte de la población. Esto agudiza problemas ambientales como la congestión y la contaminación. En América Latina y el Caribe, estos problemas se relacionan con la insuficiencia de servicios básicos críticos (transporte público y tratamiento de residuos) (CEPAL, 2014b). En la medida en que los grupos con mayor capacidad de pago y de articulación política se alejan de lo público, disminuyen las posibilidades de mejorar esos servicios. Finalmente, las soluciones cooperativas para problemas ambientales son más difíciles de lograr en situaciones de desigualdad y mayor conflictividad social (Baland y Platteau, 1998).

La vinculación entre desigualdad y problemas ambientales en la región se ve afectada por características seculares derivadas de la estructura económica, y su expresión institucional es la débil capacidad del Estado en relación con la normativa ambiental, el ordenamiento territorial, la inversión en bienes públicos y servicios básicos, y la generación de incentivos que reorienten la estructura hacia patrones de producción y consumo más sostenibles.

Fuente: (Comisión Económica para Amértica Latina y el Caribe (CEPAL), 2016)

Daniel Reséndiz Núñez hace referencia a los retos que se plantea la aplicación de las tres esferas de la sustentabilidad: social, ambiental y económica a los proyectos de ingeniería, en su libro "El rompecabezas de la ingeniería".

> La correcta aplicación de los tres criterios de evaluación indicados requiere la participación formal, transparente y efectiva tanto de los segmentos sociales con intereses legítimos en los proyectos como de profesionales idóneos de la ingeniería y la economía, además de científicos de la sociología, la ecología y otras ciencias. La participación efectiva de quienes tengan derecho a ello, la sensatez, honestidad y paciencia de quienes coordinen la planeación y evaluación de los proyectos serán la mejor defensa ante posiciones dogmáticas en pro y en contra, que seguramente seguirán existiendo y manifestándose. (Reséndiz, 2008).



Actividad 1.5
Desarrollo sustentable
A partir del video https://youtu.be/ZKNDnAv0Z80
y utilizando otros medios de información contesta las preguntas

1.4 Preguntas y actividades propuestas

Ingeniería Civil

- Una manera de conocer cómo se desarrolla la ingeniería civil en los países es a través de las asociaciones de ingenieros. Entra a las páginas web del Colegio de Ingenieros Civiles de México, Institution of Civil Engineers (Reino Unido) y ASCE (Estados Unidos de América). Prepara una tabla que incluya en la primera columna el nombre de la asociación de ingenieros civiles, en la segunda los temas principales incluidos en sus portales y en la tercera columna un comentario personal acerca de los contenidos.

  Se incluyen a continuación las ligas de las asociaciones:

  CICM, Colegio de Ingenieros Civiles de México http://cicm.org.mx/

  ICE, Institution of Civil Engineers https://www.ice.org.uk/about-us

  ASCE, American Society of Civil Engineers
  http://www.asce.org/?_ga=1.234323550.1978000248.1472338084

  Presenta algunas conclusiones sobre la actividad.

- Existen diversos enfoque conceptuales de la sustentabilidad, los que tienen ciertos indicadores de medición. Investiga y prepara un informe que incluye la siguiente información:

  a) Dos indicadores de sustentabilidad débil
  b) Dos indicadores de sustemtabilidad fuerte
  c) Dos indicadores de desarrollo humano y sustentabilidad
  d) 6 indicadores de desarrollo sostenible de la ONU
  e) ¿Cuáles de ellos te parecen más adecuados, y por qué?

- Prepara un documento acerca de los principales problemas de contaminación del agua, del suelo y del aire en nuestro país. ¿Cuáles son tus conclusiones sobre la información encontrada?

- Investiga sobre el sistema de aguas de la Ciudad de México: extracción, potabilización, abastecimiento de agua potable, alcantarillado, tratamiento, y disposición o reúso. Prepara un documento que incluya los aspectos más relevantes del Sistema. Proporciona tu opinion con relación a la sustentabilidad.

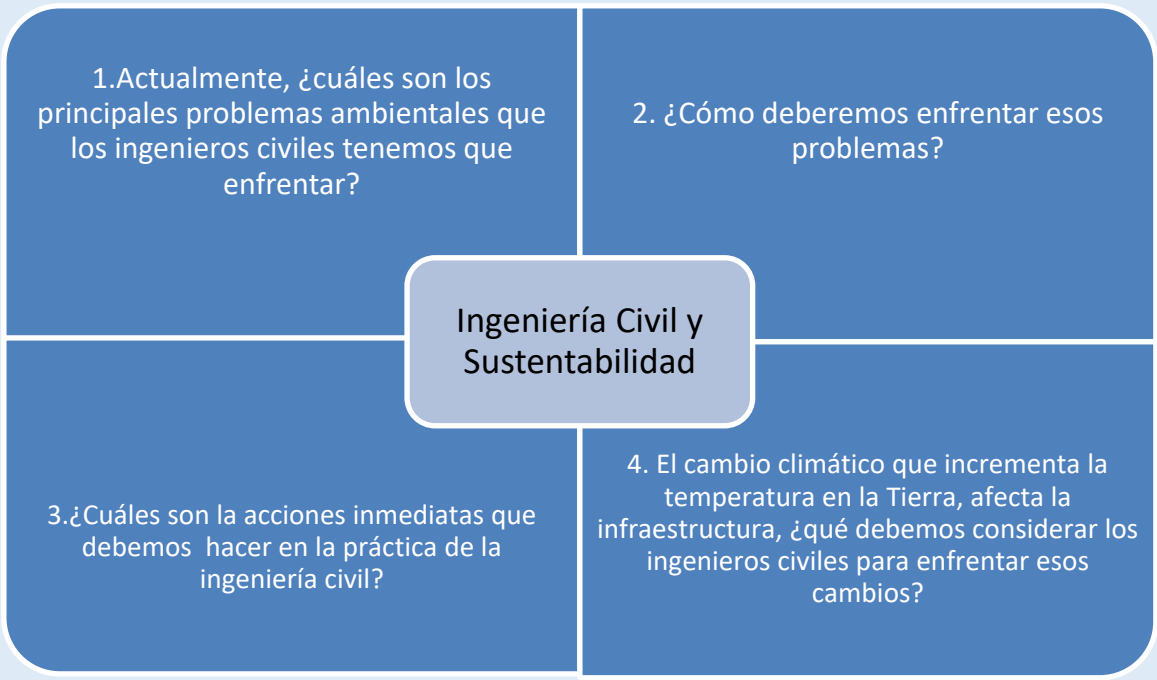
- Prepara una presentación en power point de 10 diapositivas que resuma el contenido de este capítulo y plantea 5 preguntas con sus respuestas que resuman el contenido de este capítulo.

Actividad 1.1

Ingeniería civil y sustentabilidad

A partir del video de la ASCE "Creating infrastructure for a sustainable World" de Katy Sierra responde las siguientes preguntas-guía.

https://youtu.be/0t_9SOLhnMQ



Investiga sobre el concepto de infraestructura resiliente.

Actividad 1.2

EcoPuma

A partir de la visita a la página del ECOPUMA (http://ecopuma.unam.mx/)
1. Prepara una síntesis en un máximo de dos cuartillas del contenido de la página de EcoPuma.
2. Con base en tu experiencia como estudiante de la UNAM comenta aquellos aspectos o acciones de los que trata la página de ECOPUMA que representan mayores retos en su aplicación, ¿Cuáles de ellos consideras han sido exitosos y cuáles no? y por qué motivos. Justifica tu respuesta.
3. Con base en tu experiencia como estudiante de la UNAM qué aspectos o acciones del ECOPUMA ya conocías.

Actividad 1.3
Índice IESE, Cities in motion (ICIM)

A partir del documento Índice IESE, Cities in motion, PDF (https://bit.ly/2s8Lj5Q)
Contesta las siguientes preguntas:
1. ¿Cuál es el propósito del ICIM?, ¿qué institución lo concibió?
2. ¿Quiénes son los usuarios potenciales de la información proporcionada por el ICIM?, ¿cuál es su tipo de participación para el cumplimiento del propósito del ICIM?
3. Explica de manera breve pero suficiente, en qué consiste la metodología empleada para la creación del ICIM.
4. Con base en tu experiencia como habitante de la Ciudad de México y de nuestro país, consideras que ¿tiene alguna utilidad la consulta del ICIM?, si tu respuesta es afirmativa, explica cómo.
5. Para su uso, ¿es suficiente conocer el ICIM?, o ¿se requiere conocer también sobre la metodología para su creación?, justifica tu respuesta.
6. Prepara una tabla que incluya en la primera columna las dimensiones que se consideraron en la metodología del cálculo del ICIM, en la segunda su importancia para el índice de ciudades en movimiento, y en la tercera algún ejemplo de indicador de la dimensión.

Actividad 1.4
Índice IESE, Cities in motion México

A partir del documento Índice IESE, Cities in motion en PDF (https://bit.ly/2s8Lj5Q) y de la página web de Cities in Motion, https://citiesinmotion.iese.edu/indicecim/, contesta las siguientes preguntas:

1. Con base en tu experiencia como habitante de la Ciudad de México y de nuestro país, ¿consideras que tiene alguna utilidad la consulta del ICIM?, explica la razón.

2. Ingresa a la página web de Cities in Motion y busca las ciudades de nuestro país (Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey) para obtener los gráficos de radar que permiten una interpretación del perfil de la ciudad a partir de las dimensiones del modelo.

3. A partir de la comparación de los gráficos de radar, responde lo siguiente:

3.1 ¿Cuál de las tres ciudades de México tiene una mejor ubicación en el ranking de IESE Cities in Motion?

3.2 Compara las diez dimensiones entre las tres ciudades utilizando la tabla de abajo, y haz un comentario sobre las diferencias o similitudes.

Dimensiones	CDMX	Monterrey	Guadalajara
Economía Capital humano			

Proyección internacional Planificación urbana Medioambiente Tecnología Gobernanza Cohesión social Movilidad y transporte Gestión pública			

4. Haz una búsqueda de en la página web de Cities in motion de las ciudades que se indican a continuación para obtener sus gráficos de radar.

a) Montreal, Seúl, Barcelona;

b) Nueva York, Los Ángeles y Taipéi

c) El Cairo, Caracas y Kiev

d) Calcuta, Santo Domingo y Bogotá.

Elabora una tabla que incluya en la primera columna el nombre de la ciudad, en la segunda columna su evaluación para las 10 dimensiones y en la tercera columna incluye comentarios basados en las evaluaciones de la segunda columna sobre las fortalezas y debilidades de cada ciudad.

Nombre de la ciudad	**Evaluación de las 10 dimensiones (gráficos de radar)**	**Fortalezas y debilidades**

¿Observas algún comportamiento similar entre las ciudades de los incisos a), b), c) y d)?

Actividad 1.5 Desarrollo sustentable
A partir del video (https://youtu.be/ZKNDnAv0Z80) y utilizando otros medios de información contesta las siguientes preguntas: 1. ¿Qué es sustentabilidad? 2. ¿Por qué es importante que los proyectos se evalúen y desarrollen bajo el principio de sustentabilidad? 3. ¿Qué aspectos deben cumplirse para que un proyecto sea sustentable? 4. ¿Consideras que los proyectos de ingeniería en México se han desarrollado bajo el principio de sustentabilidad?, justifica tu respuesta.

Capítulo

2

Objetivos de aprendizaje

Objetivo general: El alumno distinguirá, en la dinámica del crecimiento poblacional e industrialización, el origen de la urbanización e identificará su contribución en los problemas ambientales, como consecuencia de la densidad de personas e industrias, debido al consumo de recursos naturales y a la generación de residuos. Además, aplicará modelos para estimar la población futura.

En este capítulo aprenderás acerca de:

1. El modelo de transición demográfica y la dinámica de población mundial.

2. Instituciones nacionales competentes en el ámbito demográfico y los instrumentos para recabar información y su periodicidad.

3. Aspectos demográficos: volumen, tendencia, estructura y distribución geográfica de una población. Componentes demográficos: fecundidad, mortalidad y migración.

4. El uso de la información gubernamental de la dinámica poblacional para la determinación de los volúmenes poblacionales futuros.

5. Modelación matemática del comportamiento de los registros de volúmenes de población para la predicción.

6. Los conceptos de urbanización e industrialización.

7. El surgimiento de las primeras ciudades. Las revoluciones industriales, metropolización, megalopolización y el concepto de ciudad inteligente.

8. Los aspectos relevantes contenidos en los programas y planes de ordenamiento ecológico, asimismo, los criterios que definen la política ambiental en México. La cuantificación monetaria por el uso, agotamiento y degradación de los recursos naturales

Capítulo

2

2. Conceptos básicos del análisis demográfico

Un mundo finito sólo puede soportar una población finita, por lo tanto, el crecimiento poblacional debe eventualmente ser igual a cero

Garrett Hardin

2.1 Dinámica de la población humana

La dinámica de una población en cualquier región del mundo está estrechamente relacionada con su desarrollo social, cultural y económico. Ésta se determina mediante el análisis de la evolución de la cantidad de habitantes, su caracterización en términos de edad, género, escolaridad, etc. y la distribución de los asentamientos en el territorio de interés. Los componentes demográficos que definen el **crecimiento poblacional**[3], es decir, la **fecundidad**[4], mortalidad y migración, también dependen de factores económicos, sociales, culturales y de las políticas institucionales que prevalezcan.

Uno de los factores más importantes que define la dinámica poblacional es la salud pública. Su principal impacto es la disminución progresiva de la mortalidad, lo que se reflejará paulatinamente en el aumento en la **esperanza de vida** al nacer[5], en función siempre de la disponibilidad, suficiencia y asequibilidad de los servicios de salud; el avance tecnológico local y global en el combate a enfermedades, la escolaridad promedio de la población, entre otros.

[3] Diferencia en el volumen de la población entre dos momentos distintos y que puede ser positivo o negativo.
[4] Cantidad promedio de hijos que tendrá una madre al término de su edad reproductiva
[5] Cantidad de años que en promedio se espera viva un habitante de cierta región

Los ejes de acción de la salud pública son: a) difusión de información a la población, b) reglamentación de servicios sanitarios y c) la cobertura en los servicios de salud. En el caso de la difusión de información, ésta debe de estar dirigida, sobre todo, a la población vulnerable, tal como los niños, adolescentes, mujeres en etapa de gestación y de la tercera edad. Debe orientarse hacia la salud sexual y reproductiva. También tiene injerencia en la promoción de hábitos saludables de alimentación, prevención y detección de enfermedades.

Conocer la dinámica poblacional de un centro urbano permite definir los aspectos demográficos, actuales y futuros de interés en ingeniería, tales como el volumen de la población, estructura y distribución geográfica, conceptos que se definen en el apartado 2.3.

2.1.1 Modelo de transición demográfica

Sin importar la región del mundo o la etapa en el desarrollo humano, la evolución en los componentes demográficos de un país (fecundidad, mortalidad y migración) es casi siempre la misma, lo que también ocurre a nivel estatal y municipal.

Los asentamientos humanos, cuando surgen, se caracterizan por presentar una alta cantidad de nacimientos y defunciones. Al inicio, cuando la población es pequeña, prevalece la precariedad en términos económicos y culturales, lo que invariablemente es indicador de un número alto de hijos por cada mujer durante su edad fértil (fecundidad). A su vez, estas características promueven un ambiente insalubre, lo que aumenta los riesgos sanitarios y ello demerita la calidad de vida. La falta de infraestructura básica para el manejo adecuado de residuos líquidos y sólidos, la falta de recursos para el abrigo, la alimentación con bajo nivel nutrimental, la falta de acceso a medicamentos y el bajo desarrollo de la infraestructura de salud, se traduce en un aumento en la mortalidad y en una corta esperanza de vida. Bajo estas circunstancias el crecimiento poblacional suele ser lento o nulo.

Actualmente el continente con mayor número de nacimientos es África. Uno de sus países, Níger, en el año 2016 presenta 49 nacimientos por cada 1000 habitantes, para ese mismo año México presenta un valor de 18. Para ejemplificar de mejor forma esta relación obsérvese la tabla 2.1 la cual muestra la situación económica de algunos países (representada por el ingreso per cápita) y sus tasas de mortalidad y fecundidad. Es notable que cuanto menor es el desarrollo económico y nivel educativo, mayor es la tasa de fecundidad, menor la esperanza de vida y mayor la mortalidad.

El fenómeno explicado en los párrafos anteriores corresponde con la etapa inicial del proceso de transformación de los componentes demográficos. Este suceso ha sido ampliamente estudiado por los demógrafos y sociólogos, quienes lo han nombrado *Modelo de transición demográfica*. Fue (Davis k. , El origen y crecimiento de la urbanizacióin en el mundo, 1955) quien acuñó el término, aunque nace la idea con (Thompson, 1929) en su estudio "Population". Las siguientes etapas del modelo de transición demográfica se explican en los párrafos sucesivos.

El desarrollo tecnológico global y local, el avance en la ciencia y la consolidación y fortalecimiento de las instituciones de salud con las que cuenta una población, inciden en una variación de los componentes demográficos, comenzando con una disminución de la mortalidad

que, en combinación con las altas tasas de fecundidad que aún prevalecen en esa etapa, generan un aumento progresivo de la población. Esto trae como consecuencia que la **estructura etaria**[6] de la población se caracterice por tener una gran cantidad de niños. El aumento constante en la esperanza de vida se puede atribuir al desarrollo médico global, que permite combatir progresivamente más enfermedades, al aumento en la cobertura nacional de acceso a servicios sanitarios y educativos y al aumento en la importación de medicamentos (Gómez y Partida, 2001)

Tabla 2.1. Tasa de mortalidad y fecundidad vs situación económica del país.

País	Ingreso per cápita (dólares /persona) ajustado a la inflación	Número de nacimientos por cada 1000 habitantes	Número de muertes por cada 1000 habitantes	Esperanza de vida al nacer (años)
Níger	943	49	12	62
Angola	7 615	45	15	61
Somalia	624	43	14	59
Reino Unido	38 820	13	9.8	81
Alemania	44 050	8.5	11	81
Italia	33 300	8.3	11	82
Portugal	26 444	8	11	80
USA	53 390	13	7.9	79
Cuba	21 291	10	7.8	79
México	16 850	18	5	75
Haití	1 710	25	8.7	65
China	13 330	12	7.5	77

Fuente: Elaboración propia con datos de (GAPMINDER, 2017).

Tabla 2.2. Tasa global de fecundidad (TGF) por nivel escolaridad 1997 (quinquenio), 2009 y 2014 (trienios)

Nivel de escolaridad	ENADID 1997[a]	ENADID 2009[b]	ENADID 2014[c]
Sin instrucción	5.18	3.34	3.30
Primaria incompleta	4.06	3.26	3.21
Primaria completa	3.31	2.93	2.99
Secundaria	2.75	2.70	2.70
Media superior y superior	2.09	1.70	1.79

Nota: La TGF se refiere al total de hijos que en promedio tendrá una mujer al final de su vida productiva
a. Corresponde al quinquenio 1992 a 1996.
b. Corresponde al trienio 2006 a 2008.
c. Corresponde al trienio 2011 a 2013.

Fuente: Elaboración propia con información de CONAPO

[6] Conformación de la población en función de grupos de edades

Posterior a la etapa que involucra la disminución de la tasa de mortalidad, con el paso de las generaciones, los asentamientos humanos maduran. Ello se debe a que existe una reflexión y aumento en las capacidades económicas e intelectuales; existe una mayor equidad de género en el sector productivo, se incrementa el **costo de vida**[7], todos los bienes relacionados con la crianza de un hijo se encarecen, asimismo, el costo de oportunidad del tiempo de dedicación y, por ende, evolucionan los criterios sociales. Ello trae como consecuencia que la tasa de fecundidad disminuya, aunque a un paso menor que la tasa de mortalidad, lo que conlleva a que la población siga aumentando, pero a una tasa cada vez menor. Esto se manifiesta en una variación en la estructura etaria, predominando los jóvenes. Esta situación es benéfica para el desarrollo de un país, ya que su capacidad productiva es mayor y en aumento, es decir, gran parte de la población está en edad productiva y la proporción de dependientes económicos es menor, lo que permite la acumulación de capital. Esta situación es llamada por los demógrafos como *bono demográfico* y es explicada en los párrafos siguientes.

El aumento en el volumen de habitantes en edad productiva conlleva a una situación *ad-hoc* para el desarrollo de un país. Durante la transición demográfica esta tendencia continúa; las tasas de mortalidad y fecundidad siguen bajando, inclusive hasta el punto en el que la tasa de fecundidad se encuentra por debajo de la de mortalidad. Llegada esta situación el volumen de la población iniciará su disminución. Ejemplos de países que han alcanzado esa etapa del modelo de transición demográfica se muestran en la tabla 2.3. La estructura etaria asociada a esta situación es predominantemente envejecida. Ello representa una situación indeseable para el desarrollo económico de un país, no porque la población empiece a disminuir, sino por el hecho de que eventualmente existirán muchos dependientes económicos y poca productividad.

Tabla 2.3. Países del mundo con tasas de crecimiento bajas.

País	Población Actual (millones)	Ingreso Per Cápita (dólares/persona) ajustado a la inflación	Tasa de crecimiento anual (%)
El Salvador	3,471,180	33,604	-1.70
Letonia	1,978,440	23,282	-0.80
Ucrania	45,198,200	8,499	-0.40
Grecia	10,823,700	25,430	-0.60
Japón	126,958,470	36,162	-0.10
Cuba	11,389,560	21,291	0.10
Libia	6,278,440	17,261	0.30
El Salvador	6,126,580	7,776	0.30
República de Corea	50,617,040	34,644	0.40
Países Bajos	16,936,520	45,784	0.40
México*	127,017,220	16,850	1.30

Fuente: Elaboración propia con información de (Banco Mundial, 2017)

[7] Valor de los bienes y servicios que un hogar requiere para mantener un determinado nivel de vida.

La figura 2.1 muestra la representación gráfica del comportamiento de las tasas de fecundidad, mortalidad y volumen de población durante la transición demográfica de una población. Obsérvese que durante la etapa I las tasas de fecundidad y mortalidad son altas, por ende, el tamaño de la población se mantiene; en la etapa II, debido a que la tasa de mortalidad disminuye al igual que la de fecundidad, existe un incremento acelerado en la población. La etapa III se caracteriza por una disminución dramática en la tasa de fecundidad, lo que trae como consecuencia que la tasa de crecimiento de la población disminuya. Durante la última etapa se esperaría que la tasa de crecimiento poblacional sea cero o negativa. El comportamiento esperado después de llegar a tasas negativas es que el volumen de la población disminuya paulatinamente hasta alcanzar un equilibrio, el cual estará sujeto al desarrollo urbano, calidad de vida, disponibilidad y aprovechamiento sostenible de recursos naturales y el estado de conservación del medio.

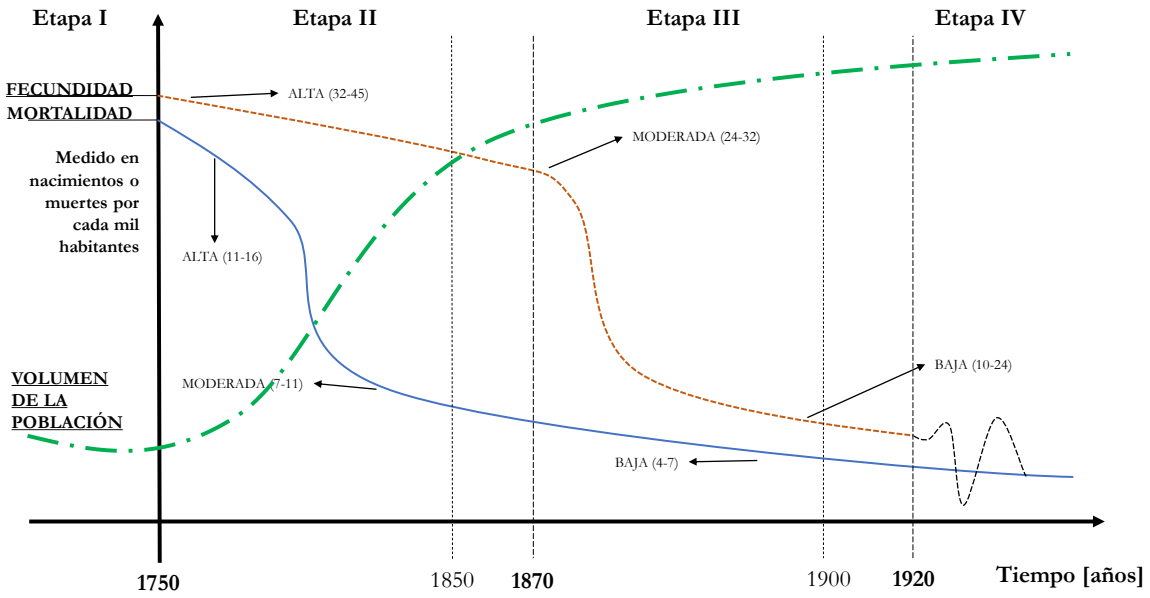


Figura 2.1. Comportamiento de las tasas de mortalidad y fecundidad debido al modelo de transición demográfica. Fuente (Palladino, 2010)

2.1.2. Situación demográfica en América Latina y el Caribe

En las últimas décadas América Latina se caracterizó por encontrarse en la etapa III del modelo de transición demográfica, lo cual se evidencia por una disminución generalizada en sus tasas de fecundidad. Esto se atribuye a los cambios sociales, económicos y culturales. Por otra parte, si se hace un análisis de las proyecciones que la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) realiza para determinar los componentes demográficos a partir de la dinámica poblacional observada hasta antes de la década de los 90, se nota una sobre estimación. Sucede que las tasas de mortalidad y fecundidad han sido menores a las proyectadas, sobre todo la de fecundidad. Es importante destacar que para que el volumen de la población no disminuya, la

tasa de crecimiento debe de superar el **nivel de reemplazo**[8], que en promedio para américa latina es de 2.1 hijos por mujer. De esta región Cuba es el país que crece más lento, inclusive por debajo de dicho nivel. Las proyecciones de la tasa de fecundidad, obtenidas con información poblacional previa a 1990, son: para 1950 un promedio de 5.1 hijos por mujer, para 1990 3,4 y, finalmente, 2.5 para el 2015. La figura 2.2 muestra las tasas de fecundidad estimadas y proyectadas de todos los países que integran a América Latina.

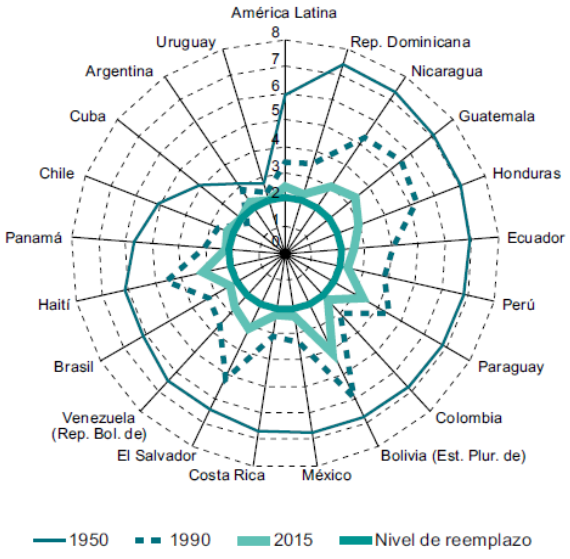


Figura 2.2. América Latina: tasa global de fecundidad estimada y proyectada, revisión de 1990, años seleccionados (*En número de hijos por mujer*). **Fuente:** (CEPAL, 2015)

América Latina tuvo una evolución demográfica acorde con el modelo de transición demográfica, sin embargo, las tasas de fecundidad y mortalidad siempre han sido mayores a las de los países desarrollados, sobre todo la primera. Además, los cambios son más abruptos, sin dejar de mencionar que la desigualdad social también es más alta. Obsérvese en la Fig. 2.3 que la tasa de natalidad disminuyó casi de forma constante desde 1950 a diferencia de la tasa de mortalidad, la cual a partir del año 2000 inició un ligero incremento. La tasa de crecimiento natural, que es la diferencia entre las dos tasas anteriores, llegará a cero en 2070 y seguirá disminuyendo (CEPAL, 2015). Una tasa de crecimiento natural negativa puede significar que el volumen de la población está disminuyendo.

Cabe destacar que las proyecciones de disminución de la mortalidad a partir de datos anteriores a 1990 sobrestimaron dichas tasas. Sobre todo, disminuyó la tasa de mortalidad infantil, también la general; sin embargo, se destaca que en el caso de los hombres la mortalidad en edades entre 15 y 29 años es superior a la proyectada, lo que se puede atribuir a cuestiones de inseguridad.

[8] Tasa de crecimiento poblacional mayor o igual a 2.1%

Para el Observatorio Demográfico de la CEPAL, América Latina alcanzó su nivel de reemplazo en 2015, que difiere en un 35% de lo proyectado en 1990, 8 puntos porcentuales por debajo.

Brasil, Chile, Uruguay, El salvador, Colombia, Costa Rica y Cuba tienen tasas globales de fecundidad por debajo del nivel de reemplazo. Ningún país de Latinoamérica alcanza una tasa de fecundidad de 3.0 (CEPAL, 2015).

Es importante destacar que, aunque las tasas de fecundidad hayan disminuido, sigue existiendo un alto porcentaje de embarazos en edades de 15 a 20 años (fecundidad adolescente). De hecho, la edad media de fecundidad (ver apartado 2.3) en América Latina disminuyó de 27.2 años a 26.8 años.

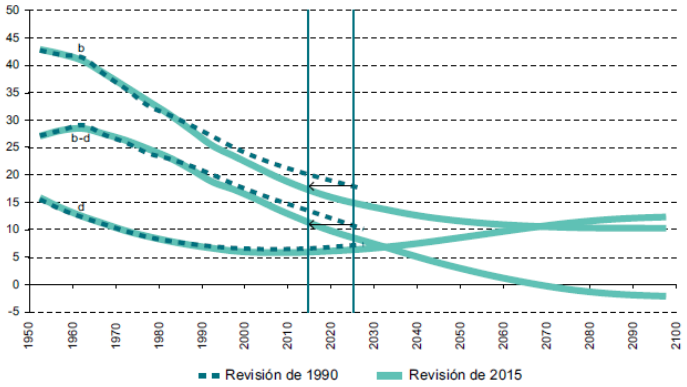


Figura 2.3. América Latina: tasa de natalidad (b), tasa bruta de mortalidad(d) y tasa de crecimiento natural de la población (b-d), revisiones de 1990 y de 2015, período 1950-2100 (En números por cada mil personas). Fuente: (CEPAL, 2015)

En la figura 2.4 se observa que el número de nacimientos en América Latina ha disminuido drásticamente a partir de la década de los 90. Se puede concluir que identificar tendencias y esperar su continuidad no siempre es lo más adecuado en el contexto demográfico. Cabe aclarar que las tasas de la figura 2.3 que se expresan en miles de habitantes también se les conoce en el contexto demográfico como tasa bruta.

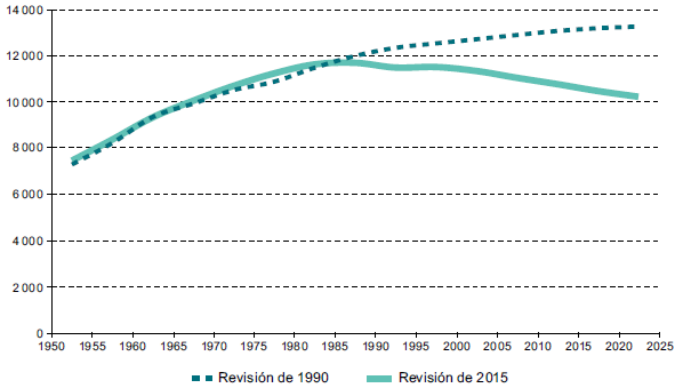
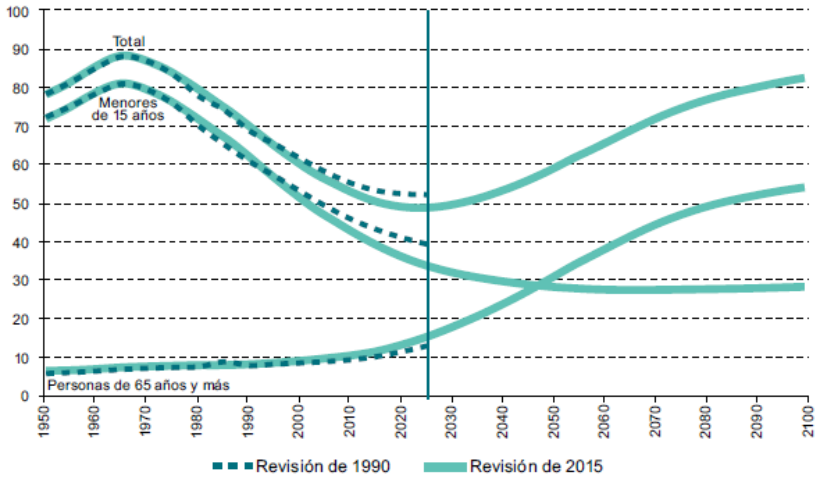


Figura 2.4. América Latina: promedio anual de nacimientos, revisiones de 1990 y de 2015, por quinquenios, 1950-2025 *(En miles de personas)* Fuente: (CEPAL, 2015)

Bono demográfico

Es el término que engloba la situación demográfica de un país que presenta una proporción menor de dependientes económicos[9] que de habitantes en edad productiva[10]. En términos globales América Latina concluye su bono demográfico en el año 2027. A partir de este año la relación de dependencia total inicia un aumento, ya que la cantidad de dependientes que corresponden al grupo de mayores de 65 años aumenta de forma drástica. La cantidad de dependientes menores a 15 años sigue disminuyendo a causa de la transición demográfica. Obsérvese que a partir de 2050 la proporción de dependientes menores a 15 años ya no disminuye y se estaciona en una proporción de 28%.



[a] Relación de dependencia total: ((población de 0 a 14 años + población de 65 años y más) /población de 15 a 64 años) *100

[b] Relación de dependencia de los menores de 15 años: (población de 0 a 14 años/población de 15 a 64 años) *100

[c] Relación de dependencia de las personas de 65 años y más: (población de 65 años y más/población de 15 a 64 años) *100

Figura 2.5. América Latina: relación de dependencia total [a], de los menores de 15años [b] y de las personas de 65 años y más [c], revisiones de 1990 y de 2015, período 1950-2100

Fuente: (CEPAL, 2015)

2.1.3. Situación demográfica de México

Para poder identificar la situación demográfica de México es necesario contextualizar sus componentes y características, y compararlas con los de los países de la región. Algunos aspectos demográficos de gran relevancia son los que se muestran en la tabla 2.4. En primer lugar, nótese que México es el país que más habitantes tiene después de Brasil. Además, el índice de envejecimiento, es decir la cantidad de personas con una edad mayor o igual a 60 años por cada

[9] Habitantes menores de 15 años o mayores a 65 años
[10] Habitantes con edades de entre 15 y 65 años

100 menores de 15 años, es menor al promedio de la región. Es de notarse que en este aspecto Cuba tiene un valor de 118.4, lo que es indicador de una población primordialmente envejecida.

México, hasta el año 2015, posee una tasa global de fecundidad de 2.3 nacimientos por mujer, muy cerca ya del nivel de reemplazo. Se espera que para mediados del presente siglo el fenómeno de la transición demográfica en México avance a la siguiente etapa y se alcancen tasas de crecimiento cercanas a cero.

Tabla 2.4. América Latina: indicadores seleccionados por país, 2015

País	Población (en miles a mitad del año)			Índice de envejecimiento [a] (por 100)	Tasa global de fecundidad	Tasa de mortalidad infantil (por 1,000 nacidos vivos)	Esperanza de vida al nacer	Tasa de crecimiento total (por 1,000)
	Ambos sexos	Hombres	Mujeres					
América Latina	618,551	305,399	313,153	42.7	2.1	18.9	75.3	10.7
Argentina	43,298	21,276	22,022	60.4	2.3	13.3	76.4	9.7
Bolivia	10,737	5,379	5,358	26.6	2.9	40.5	69.1	15.5
Brasil	207,750	101,700	106,050	50.5	1.8	18.8	74.9	8.6
Chile	17,943	8,902	9,041	70.9	1.8	7.1	79.2	8.6
Colombia	48,229	23,743	24,485	44.6	1.9	17.4	74.2	8.9
Costa Rica	4,821	2,412	2,409	57.5	1.8	9.1	79.6	10.4
Cuba	11,422	5,720	5,702	118.4	1.6	5.4	79.4	0.6
Ecuador	16,144	8,071	8,073	34.2	2.5	20.3	76.1	14.9
El Salvador	6,298	2,966	3,332	38.4	1.9	15.5	73.4	4
Guatemala	15,920	7,836	8,084	16.7	2.9	23.8	73.3	19.6
Haití	10,750	5,323	5,426	20.7	2.9	41.3	63.4	13.1
Honduras	8,075	4,036	4,039	22.7	2.3	26.9	73.4	13.5
México	124,612	61,909	62,703	34.6	2.3	18.2	76.9	13.2
Nicaragua	6,086	3,000	3,086	25.8	2.2	17	75.2	11.1
Panamá	3,929	1,970	1,959	40.3	2.4	14.7	77.8	15.8
Paraguay	6,639	3,369	3,270	29.9	2.5	27.3	73.2	12.6
Perú	31,383	15,677	15,707	35.7	2.4	17.6	74.7	12.6
República D.	10,531	5,247	5,284	32.5	2.5	23.2	73.8	11.6
Uruguay	3,430	1,656	1,775	89.5	2	11.2	77.4	3.5
Venezuela	30,554	15,206	15,347	34.4	2.3	12.9	74.5	12.6

[a] Índice de envejecimiento, personas de 60 años y más por cada 100 menores de 15 años.
Fuente: (CEPAL, 2015)

Recuadro 2.1
El envejecimiento de la población en México y el problema del pago de pensiones

En estos días en los que una generación se divierte con juegos virtuales, por cada persona en ***edad de retiro*** existen 10 jóvenes trabajando, pero a sus miembros les espera un **reto generacional**: para 2024 serán ocho en promedio los que cooperen en la encomienda de pagar la seguridad social de cada anciano y ese número ya solo irá a la baja, de acuerdo con los datos del **CONAPO**.

De no hacer nada para enfrentar este escenario que se avecina, los **sistemas de salud**, de **seguridad social** y la misma **economía**, enfrentarán una catástrofe, advirtió la secretaria general de la CONAPO, pues "no habría pensiones que cubrieran las necesidades de los adultos mayores, además estos llegarían con enfermedades degenerativos o muy caras".
Sus estimaciones anuncian que en 2030 serán seis y para 2050, por cada adulto habrá solo 5 jóvenes aportando para la seguridad social de los adultos mayores, es decir para la siguiente década México entraría de lleno a la categoría de naciones en envejecimiento.

"Si la *tasa de crecimiento poblacional* no cambia su tendencia, no habrá personas que con sus cuotas y pagos de impuestos nos permitan acceder a las prestaciones a las que tienen derecho las personas que llegan a la vejez", dijo por su parte Salvador Rivas, Secretario académico de la carrera de economía de la Universidad Panamericana (UP).
El *bono demográfico* ofrece situaciones particularmente favorables para incrementar el crecimiento, la productividad y acumular riqueza financiera, sin embargo, México no tuvo suficiente visión ni antelación para aprovechar esta circunstancia demográfica. Por ello ahora se tienen que establecer programas de salud, educación y retiro, expuso Rodolfo Tuirán, investigador especializado en temas demográficos.

Actualmente la edad promedio en el mundo es de 20 años, y de 27 en México. Para 2050 se estima que a nivel global rondará en los 36 y llegará a 42 años en 2100; en México el crecimiento será más abrupto, llegará a 41 años en 2050 y a 51 años en 2100, según información de la Comisión Nacional para Sistema de Ahorro para el Retiro (CONSAR), basado en estudios de las Naciones Unidas.

Los países donde se presentan cambios demográficos y realizaron cambios para enfrentar esta situación son: Japón, España, Holanda, Dinamarca, Hungría y República Checa.

"Estamos en la parte final (del bono demográfico), todavía se puede con visión, aprovechar, y es lo que se está intentando hacer, con el tema educativo por ejemplo (muy deficiente aún)", subrayó Ham Chande, profesor investigador del Departamento de Estudios en Población del Colegio de la Frontera Norte.

Nota periodística
Hoy juegan Pokémon Go y en ocho años cargarán con más ancianos.
Por: Yuridia Torres
Fuente: El Financiero (Torres, 2016)

Una vez entendida la dinámica poblacional internacional y nacional y el modelo de transición demográfica se propone la realización de dos actividades que mejorarán la comprensión de los temas expuestos, mismas que se enuncian a continuación y que se detallan al final del capítulo.



Actividad 2.1.
Análisis del video *Don't Panic: The facts about population.*
Con base en el contenido del video propuesto, responde el cuestionario planteado



Actividad 2.2.
Elaboración de gráficos en GAPMINDER Tools
Elabora los gráficos indicados en el listado y establece las tendencias y correlaciones entre México y otros 2 países.

2.2 Fuentes de información

En México se cuenta con el Sistema de Información Estadística y Geográfica de la Población, de éste se desprende el INEGI. Este Instituto realiza, al inicio de cada década, la aplicación de cuestionarios a toda la población del País. De este ejercicio surge información de la población y la vivienda, que posteriormente será utilizada por el sector público, productivo, social y académico con diversos objetivos.

La periodicidad de la aplicación del censo de población y vivienda de INEGI en ocasiones conlleva a brechas entre el momento en que la información es recopilada y cierto instante de interés. Por ejemplo, en el caso de la necesidad que presenta el gobierno de medir la eficacia de algún programa gubernamental que incremente el bienestar de la población, sería deseable contar con información en periodos más cortos. Una forma de subsanar esto es mediante los conteos de población y vivienda realizados también por INEGI, cuya aplicación es a la mitad del periodo censal. Por otra parte, existen las encuestas con propósito definido, que son aplicadas solamente a una muestra representativa de la población, cuyo tamaño deberá ser determinado con estricto rigor metodológico[11]. Tal es el caso de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID) que recopila información demográfica. Su año de aplicación y periodicidad no están definidos, pero históricamente se han llevado a cabo al inicio y mitad de un sexenio.

La información que se obtiene directamente de la población se le conoce como fuente primaria, En México existen instrumentos que recopilan información de la población, vivienda y comercio. A continuación, se describen algunas de las fuentes primarias y secundarias más importantes del país.

2.2.1. Fuentes primarias

Estadísticas vitales de INEGI

El Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG) recaba información que las instituciones públicas obtienen de la población cuando ésta realiza trámites ciudadanos, tal es el caso del Registro Civil que, al emitir actas de nacimiento, matrimonio, y defunción conserva registros de datos demográficos relevantes. A partir de dicha información el INEGI publica las estadísticas vitales.

Las estadísticas vitales se actualizan cada año y son el punto de partida para determinar la dinámica poblacional y aspectos nupciales de un municipio, entidad federativa y a nivel nacional. Es importante aclarar que estos registros presentan sesgos, principalmente porque aún existe rezago en algunos sectores de la población acerca de la importancia del registro y, en ocasiones,

[11] Considerando la confiabilidad que mediante métodos estadísticos la muestra puede representar

el difícil acceso a las oficinas de gobierno, lo que en algunos casos propicia que haya hasta cuatro años entre el nacimiento y su registro, o de la muerte y la emisión del acta de defunción. En el caso de la mortalidad infantil se presenta el inconveniente de la omisión de datos debido al subregistro. Las muertes infantiles, es decir aquellas que se presentan antes de cumplido el primer año de vida, presentan una falta de registro en un 10.6%, además, algunas veces tampoco existe el registro desde el nacimiento en un 18% (CONAPO C. N., Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014, 2015), lo que sugiere áreas de oportunidad en la administración.

Para ese caso existen métodos para la corrección de la información, mismos que fueron utilizados por CONAPO para su **conciliación demográfica**[12].

Las estadísticas vitales son información pública y podrán servirte para tener un panorama más amplio de la dinámica poblacional de un territorio. Los registros más recientes del INEGI los puedes consultar en el portal digital de la institución.

Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica

Dado el dinamismo de los aspectos demográficos reflejados en las condiciones sociales de los hogares del país, no es suficiente la información que surge de los censos de población y vivienda aplicados cada 10 años por el INEGI. El contar con información representativa y actual sugiere la necesidad de la aplicación de otros instrumentos de menor alcance y periodicidad. Un ejemplo de esto es la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID), cuya aplicación no tiene una periodicidad establecida, pero desde 1992, se ha realizado en los años 1997, 2006, 2009 y la última en el 2014.

ENADID representa un proyecto estadístico que enriquece la oferta de información demográfica de interés nacional. Permite generar información actualizada y su análisis, sobre todo respecto al nivel y dinamismo de los componentes demográficos principales, es decir, la fecundidad, mortalidad y migración nacional e internacional; además de otros temas prioritarios como los relacionados con la salud sexual y reproductiva y la nupcialidad.

La última publicación de la encuesta ENADID podrás consultarla en la página electrónica del INEGI

[12] Estudio que realiza el CONAPO para establecer el valor y comportamiento de los componentes y aspectos demográficos que sirven como punto de partida para una proyección de población.

2.2.2. Fuentes secundarias

CONAPO

La Ley General de Población publicada en la Gaceta Oficial de la Federación en 1974 y actualizada el primero de diciembre de 2015, establece en su Art. 5° que: "Se crea el Consejo Nacional de Población que tendrá a su cargo la planeación demográfica del país, con objeto de incluir a la población en los programas de desarrollo económico y social que se formulen dentro del sector gubernamental y vincular los objetivos de éstos con las necesidades que plantean los fenómenos demográficos." Esta misma ley establece en el Art. 6° que el CONAPO estará integrado por un representante de la Secretaría de Gobernación, que fungirá como presidente del mismo, además un representante de las siguientes secretarías: Hacienda y Crédito Público, Salud, Relaciones Exteriores, Desarrollo Social, Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Economía, Medio Ambiente y Recursos Naturales, Educación Pública, Trabajo y Previsión Social, Reforma Agraria. Institutos: Mexicano del Seguro Social, De Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado, Nacional de las Mujeres, Nacional de estadística y Geografía; además, contará con un representante de la Comisión Nacional de Desarrollo de los Pueblos Indígenas y del Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia.

La Ley General de Población cuenta con su reglamento, el cual establece en su Art. 37, fracción III, que el CONAPO, a través de su Secretaría General, será encargada de analizar, evaluar, sistematizar y producir información sobre los fenómenos demográficos, así como elaborar proyecciones de población, tanto a nivel nacional, como estatal, municipal y local. Hasta el año 2017 se cuenta con proyecciones año con año desde el 2010 al 2030.

Contar con la información generada y analizada por CONAPO permite enriquecer la etapa de planeación de un proyecto de ingeniería y focalizar esfuerzos, teniendo plena certeza de que se cuenta con información representativa y amplia de la sociedad, particularmente de su dinámica poblacional, lo que permitirá que la proyección sea más certera y por ende el proyecto corresponda más con las necesidades de la población.

Modelo de proyección de CONAPO

La metodología propuesta por el CONAPO para la proyección de población de todo el territorio nacional hacia el año 2030, inició con una conciliación demográfica, práctica común a nivel mundial de las instituciones que realizan proyecciones de población (CONAPO C. N., Documento metodológico: Proyecciones de la población de México 2010-2050, 2012).

Una conciliación demográfica consiste en determinar los componentes demográficos principales mediante el análisis de los datos censales del pasado más reciente. Con estos se proyectan cada uno de resultados de los censos y conteos al último censo o al más confiable (para ambos casos es el 2010). La comparación del resultado de la proyección con los datos del censo del 2010 permitió validar de forma cuantitativa los componentes obtenidos y con ello darle confiabilidad a las proyecciones.

Para determinar las componentes demográficas se consideró el uso de los datos de los Censos de Población y Vivienda de los años 1990, 2000 y 2010, además de los conteos de población de 1995 y 2005. Cada uno de los resultados de estos instrumentos se proyectó al 1 de julio del 2010. Esas proyecciones, en conjunto con unos criterios establecidos, sirvieron para determinar a la población base para proyectar al año 2030, en el caso de los municipios, y hasta 2050 a nivel nacional y en las entidades federativas.

A partir de la comprensión del modelo de transición demográfica y los efectos que esta tiene en los componentes demográficos, es evidente que la dinámica poblacional en México y en el cualquier parte del mundo no es necesariamente lineal y, por ende, cualquier predicción es compleja y conlleva un análisis contextual. Las características demográficas son muy sensibles a pequeños cambios en las condiciones sociales, culturales y económicas. Para tener mayor certeza en los resultados de una proyección de población se debe privilegiar el criterio de que el futuro se parece más al presente que al pasado. Por ello, no es recomendable considerar información censal muy antigua (más de 15 años) para realizar una proyección de población.

A fin de dar claridad y confiabilidad a los datos generados por CONAPO, a continuación, se describe la metodología utilizada para la determinación del nivel y dinámica de cada componente demográfico.

Fecundidad

Para expresar la fecundidad se utilizaron variables que representan nacimientos en la población. En primer lugar, la tasa de fecundidad por edad (TFE), la cual representa el número de nacimientos por mujer, cuyos años corresponden con cada grupo de edad clasificado en quinquenios, que inicia desde los 15 hasta los 49, es decir: primer grupo de 15 a 19, segundo de 20 a 25 y así sucesivamente hasta el grupo de 45 a 49 años. En cada grupo se identificó el número de nacimientos y estos se dividieron entre el número de mujeres en edad fértil para ese año.

La tasa global de fecundidad (TGF) es la suma de todas las tasas de fecundidad por edad. Representa el número promedio de hijos que tendrá cada mujer al término de su edad reproductiva (49 años). Para su determinación se consideró el uso de las estadísticas vitales, los conteos y censos de población y vivienda y ENADID.

Una vez identificado el nivel de fecundidad nacional y por entidad federativa, las tasas globales de fecundidad se ajustaron mediante la herramienta de mínimos cuadrados a un modelo logístico. Lo que permitió en una siguiente etapa poder proyectar las tasas de fecundidad, y con ello estimar la población hasta el 2050.

Mortalidad

Al igual que la fecundidad las tasas de mortalidad se determinaron a partir de información tomada de las estadísticas vitales, censos y conteos de población y vivienda y encuestas que incluyen la historia de embarazos (caso de ENADID). Se buscó encontrar las tasas de mortalidad por sexo, edad y entidad federativa.

La mortalidad es una componente demográfica que se puede expresar en dos datos de interés: a) la mortalidad infantil, la cual debe entenderse como el número de fallecidos antes de cumplir el año de vida por cada 1, 000 nacidos vivos, y b) la esperanza de vida al nacer, que es el número de años que en promedio se espera que un habitante permanezca vivo. La primera se determinó mediante el ajuste a un modelo logístico, para la segunda se optó por la metodología planteada por la ONU para integrar tablas de mortalidad de países subdesarrollados (CONAPO C. N., Documento metodológico: Proyecciones de la población de México 2010-2050, 2012).

En el caso de la mortalidad infantil la información obtenida de los censos de población y vivienda no es del todo representativa; ello no permite que las tasas obtenidas puedan ser utilizadas para una correcta proyección de población. En este caso se prefirió el uso de las encuestas ENADID realizadas en 1992, 1997, 2002 y 2009.

Los resultados del ejercicio de conciliación demográfica realizado por CONAPO permitieron realizar la proyección de los distintos componentes demográficos, y con ello establecer la dinámica poblacional más probable en el futuro cercano. Un resumen de la información obtenida se muestra en la tabla 2.5.

El modelo de proyección de CONAPO se basa en el método de las componentes, el cual consiste en un modelo matemático que incluye sumandos, cada uno de estos representa un criterio relacionado con una característica demográfica. Para un conocimiento más profundo de la metodología empleada por CONAPO para las proyecciones de población, se recomienda la consulta del libro: Documento Metodológico de las Proyecciones de Población 2010-2050, disponible en el portal del CONAPO.

Tabla 2.5. Dinámica poblacional nacional más probable obtenida por CONAPO para el periodo 2010 - 2030

INDICADOR	2010	2015	2020	2025	2030
Población a mitad de año	114 289 406	120 422 144	125 016 451	128 491 093	131 478 659
Hombres	55 849 322	58 706 990	60 722 721	62 121 343	63 238 173
Mujeres	58 440 084	61 715 154	64 293 730	66 369 750	68 240 486
Nacimientos	2 251 058	2 227 031	2 183 234	2 127 494	2 073 999
Defunciones	640 461	690 471	751 506	823 721	904 064
Crecimiento natural	1 610 597	1 536 560	1 431 728	1 303 773	1 169 935
Inmigrantes interestatales	863 642	884 170	891 787	890 653	885 689
Emigrantes interestatales	863 642	884 170	891 787	890 653	885 689
Inmigrantes internacionales	178 063	109 695	72 419	72 413	72 404
Emigrantes internacionales	414 574	559 223	759 293	721 809	706 502
Migración neta interestatal	0	0	0	0	0
Migración neta internacional	-236 511	-449 528	-686 874	-649 396	-634 098
Crecimiento social total	-236 511	-449 528	-686 874	-649 396	-634 098
Crecimiento total	1 374 086	1 087 032	744 854	654 377	535 837
Tasa bruta de natalidad*	19.70	18.49	17.46	16.56	15.77
Tasa bruta de mortalidad*	5.60	5.73	6.01	6.41	6.88
Tasa de crecimiento natural**	1.41	1.28	1.15	1.01	0.89
Tasa de inmigración interestatal**	0.76	0.73	0.71	0.69	0.67
Tasa de emigración interestatal**	0.76	0.73	0.71	0.69	0.67
Tasa de migración neta interestatal**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tasa de migración neta internacional**	-0.21	-0.37	-0.55	-0.51	-0.48
Tasa de crecimiento social total**	-0.21	-0.37	-0.55	-0.51	-0.48
Tasa de crecimiento total**	1.20	0.90	0.60	0.51	0.41
Tasa global de fecundidad	2.28	2.19	2.13	2.10	2.08
Esperanza de vida al nacimiento total	73.97	74.95	75.73	76.35	76.97
Esperanza de vida al nacimiento hombres	71.05	72.34	73.29	73.96	74.64
Esperanza de vida al nacimiento mujeres	77.03	77.68	78.28	78.85	79.41
Mortalidad infantil total	14.08	12.03	10.56	9.52	8.79
Mortalidad infantil hombres	15.49	13.23	11.62	10.48	9.67
Mortalidad infantil mujeres	12.61	10.77	9.45	8.52	7.87

* Por mil, ** Por cien
Fuente: (CONAPO C. N., Documento metodológico: Proyecciones de la población de México 2010-2050, 2012)



Actividad 2.3.
Consulta de registros de estadísticas vitales de INEGI
Analizando el contenido del portal proporciona la información solicitada.

2.3 Componentes y características de la población

La historia y desarrollo de un territorio se entiende mejor si se cuenta con información demográfica que contextualice. Esta información está estrechamente relacionada con las variables que definen el crecimiento poblacional, estructura y su evolución.

La **demografía** es la ciencia que se encarga del estudio de las poblaciones. Las aportaciones que esta área del conocimiento tiene son por demás valiosas. En principio, porque contribuye a establecer causas de eventos ya ocurridos, pero más importante aún dibuja escenarios fundamentados que otras áreas del conocimiento toman para proyectar necesidades y proponer soluciones adelantadas.

En la siguiente etapa del análisis demográfico se analizan los cambios entre "fotografía" y "fotografía", con el objetivo de establecer tendencias, es decir, variaciones positivas o negativas en los distintos aspectos sociales y demográficos. Esto representa una herramienta valiosa, ya que permite proyectar una las condiciones futuras.

A continuación, se describen los elementos que permiten describir los aspectos o características demográficas de un territorio.

2.3.1. Dimensión

También llamada volumen, tamaño o nivel, representa el número de habitantes en cierto instante, de forma conjunta y desagregada. Este último término se refiere a contar con información del número de habitantes, clasificados por género, edad o característica socioeconómica particular. Su importancia radica en que para cierto tiempo es indicadora del tamaño de la demanda de insumos, recursos y energía; además establece la pertinencia del dimensionamiento de la infraestructura.

Cada componente demográfico, es decir, la fecundidad, mortalidad y migración también tienen una dimensión asociada a una fecha, medida como una tasa de crecimiento, que puede ser referida a una cantidad de nacimientos, defunciones o migrantes por cada cien o mil habitantes, o bien asociada a algún método numérico. En México es común encontrar valores de éstos a cada año (se refiere a mitad del año), aunque es lógico pensar que para cierto año existirán ligeras variaciones mes con mes, sobre todo si el centro urbano se encuentra en transición demográfica.

En México el CONAPO, no obstante que cuenta con información de bastantes décadas de censos y conteos de población y vivienda aplicados por INEGI, optó por modelar el comportamiento de la población de los últimos 20 años (1990 a 2010). Es evidente que considerar el comportamiento del crecimiento acelerado de la población que se tenía en la década de los 50 sesgaría el modelo matemático integrado y las proyecciones variarán enormemente con la realidad en los años posteriores.

Por otra parte, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en su NT-011-CNA-2001 considera que la información poblacional que se deberá considerar para una proyección de

población con fines de establecer una demanda o descarga de agua no será de un periodo anterior mayor a 15 años (CONAGUA, 2001).

Finalmente, cuando se hace una proyección de población lo que se busca es conocer la dimensión de la población al término del **horizonte de planeación**[13]. Esto permite al ingeniero civil durante su ejercicio profesional establecer el tamaño adecuado de los sistemas y de las obras civiles.

2.3.2. Estructura

El término estructura en el contexto de la demografía debe entenderse como la caracterización del universo de estudio, en este caso la población de un territorio, obteniendo las proporciones de grupos poblacionales relacionados a alguna variable de interés. Una de las variables más importantes y recurridas es la edad. La estructura por edad (estructura etaria) muestra qué porcentaje del total se encuentra en grupos de edad clasificados por año o por grupos quinquenales (5 años). La estructura también puede estar asociada a otras variables de interés. En ingeniería civil, particularmente en el caso de la gestión integral del agua, durante la planeación de un sistema hidráulico urbano, es importante proyectar la estructura poblacional asociada a características socioeconómicas, ya que éstas se relacionan tanto con la dotación[14] como con la aportación de agua. Ejemplo de características socioeconómicas que determinan la cantidad de agua que requiere una vivienda son: el ingreso monetario familiar en salarios mínimos, el tipo de vivienda y sus características, la posesión de ciertos bienes específicos, entre otras. De cada variable de interés se puede integrar una estructura, siempre y cuando se cuente con información de la población.

Una estructura que no es de interés en ingeniería pero que es parte de la información demográfica de un territorio es el **índice de masculinidad**, también llamada razón de sexo. Éste es un indicador de la proporción de hombres y mujeres del total de la población. Se expresa como el número de hombres por cada 100 mujeres. México en el año 2015 presentó un índice de masculinidad de 98.7, se espera que para el año 2030 aumente a 98.8 (CEPAL, 2015).



Actividad Propuesta.
Generación de gráfico en GAPMINDER.
Con ayuda del GAPMINDER Tools Genera un gráfico de barras que indique el índice de masculinidad de al menos 2 países de cada continente. Concluye al respecto de lo observado.

[13] Fecha en el futuro en el cual la obra civil o sistema estará vigente y corresponderá con las necesidades de la población
[14] Cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas en el sistema, en un día medio anual; sus unidades están dadas en l/hab/día. **Fuente: Fuente especificada no válida.**



Actividad Propuesta.
Explicación del índice de masculinidad a partir del análisis del principio de Fisher.
Con ayuda del GAPMINDER Tools Genera un gráfico de barras que indique el índice de masculinidad de al menos 2 países de cada continente.
Concluye al respecto de lo observado.

2.3.3. Pirámide poblacional

La estructura etaria de una población se puede expresar gráficamente mediante la unión de dos histogramas que representen el número o proporción de habitantes con cierta edad, en años o que correspondan a grupos quinquenales (habitantes con edades de 0 a 5 años, de 5 a 10, etc.); un gráfico para cada género. La unión es mediante el eje de la edad, en este caso las abscisas, que se colocarán verticalmente. El eje horizontal mide la frecuencia. A este gráfico se le nombra pirámide poblacional. Ejemplos se muestran en la figura 2.6.

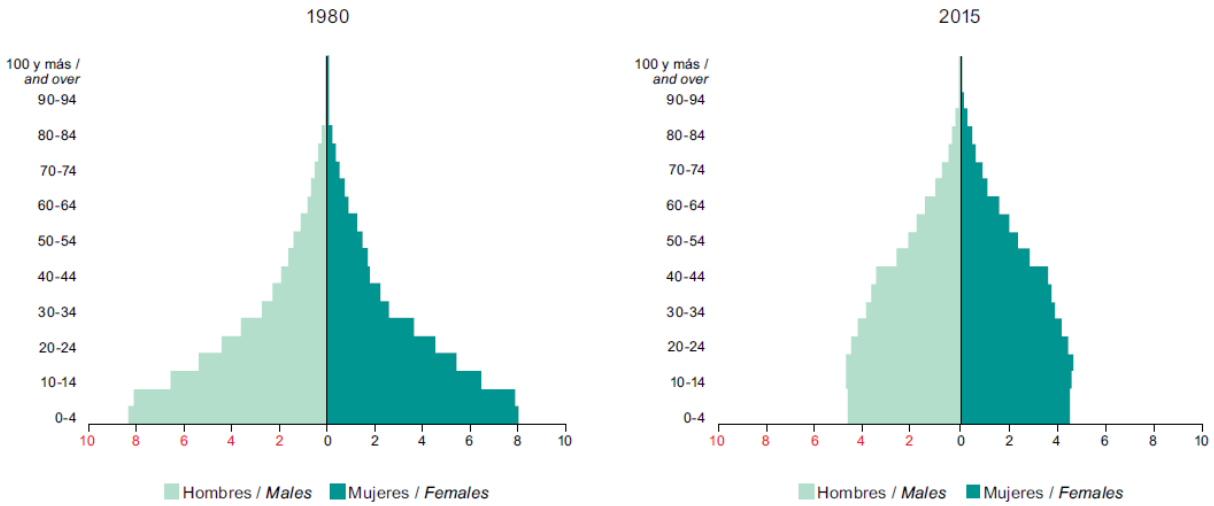


Figura 2.6. México: distribución relativa de la población por sexo y grupos quinquenales de edad, 1980 y 2015.
Fuente: (CEPAL, 2015)

La pirámide poblacional permite diagnosticar la madurez de un territorio y, a su vez, identificar grupos poblacionales dependientes y en edad reproductiva, entre otros aspectos.

Generalmente la pirámide poblacional revela la etapa del proceso de transición demográfica en la que el territorio se encuentra, ya que es reflejo del desarrollo económico, social y cultural de una población.

Para la descripción y análisis de una pirámide poblacional es importante establecer las tres partes que la componen (ver figura 2.7): a) **base:** aquellos habitantes que tienen entre 0 y 24 años; b) **cúspide:** habitantes que tienen más de 65 años y c) **borde:** habitantes entre 25 y 65 años.

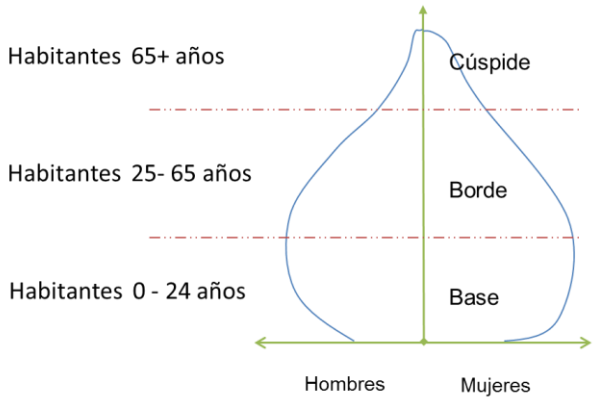


Figura 2.7. Elementos que integran a una pirámide poblacional. **Adaptado de:** Introducción a la Demografía (Palladino, 2010)

Siendo la pirámide poblacional tan descriptiva y útil para la toma de decisiones, algunos investigadores han establecido una clasificación en función de la forma de la pirámide poblacional. Cuando el territorio de interés está en vías de desarrollo y aún se mantienen altas tasa de fecundidad y mortalidad, la forma de la pirámide es espigada, es decir, muy ancha en la base, de baja altura y afilada en la cúspide, reflejo de que hay muchos nacimientos, poca gente en edad reproductiva y, al haber gran mortandad, poca vejez. Un ejemplo de país que presenta estas características está Haití, su pirámide se muestra en la figura 2.8.

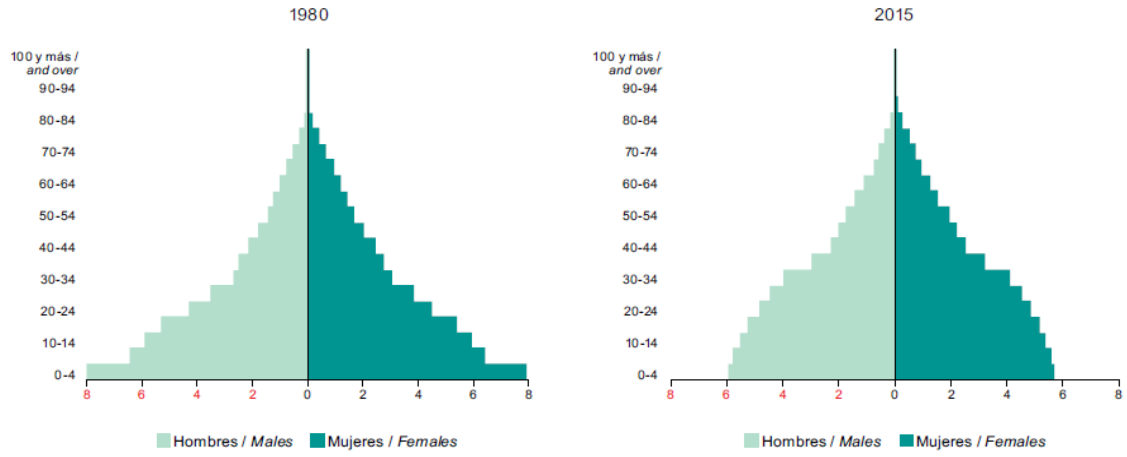


Figura 2.8. Pirámide poblacional de Haití: distribución de la población por sexo y grupos quinquenales de edad, 1980 y 2015. **Fuente:** (CEPAL, 2015)

Otro aspecto a observar en una pirámide poblacional son los bordes, vistos desde "fuera" de la pirámide. Si son cóncavos son reflejo de una alta mortalidad y si son convexos lo contrario. Obsérvese en la figura 2.8 que Haití en 1980 presentaba mayor mortalidad que en el 2015. A este tipo de pirámides se les conoce como expansivas.

Cuando la cúspide no es afilada, más bien es ancha o abovedada, se debe entender que representa a una población envejecida, es decir, que los grupos poblacionales mayores a 65 años tienen un peso porcentual importante del total de la población. A este tipo de pirámides se le conoce como estacionaria. Una zona del mundo que ha alcanzado esas características es Europa occidental y Estados Unidos de América, aunque este último presenta un fenómeno de rejuvenecimiento, es decir que su base empieza a ensancharse.

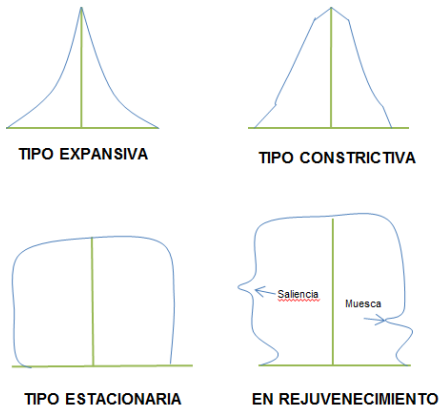


Figura 2.9. Tipos de pirámide de población.

Entre las dos formas descritas en los párrafos anteriores se hallan aquellas poblaciones que se encuentran en un proceso de madurez. Se caracterizan por tener una cúspide ligeramente ensanchada y una base ancha, pero no tanto como la expansiva. A estas pirámides se les llama constrictivas. La pirámide poblacional de México en el 2015 es un claro ejemplo (ver figura 2.6).

Es probable que en algunas pirámides poblacionales existan deformidades, tales como salientes abruptas o muescas. Esto puede deberse a varias situaciones: en el caso de muescas, es probable que en el año de nacimiento de ese grupo de edad haya existido algún problema sanitario que disminuyó momentáneamente la fecundidad, o bien, algún fenómeno de disminución de población debido a problemas sociales, como la inseguridad, o bien por emigración. Por otra parte, en el caso de salientes puede argumentarse que algún grupo de edad se vio incrementado por la llegada de inmigrantes. La pirámide poblacional de Cuba es un ejemplo, particularmente en grupos de edad de 40 a 55 años, como lo muestra la figura 2.10.

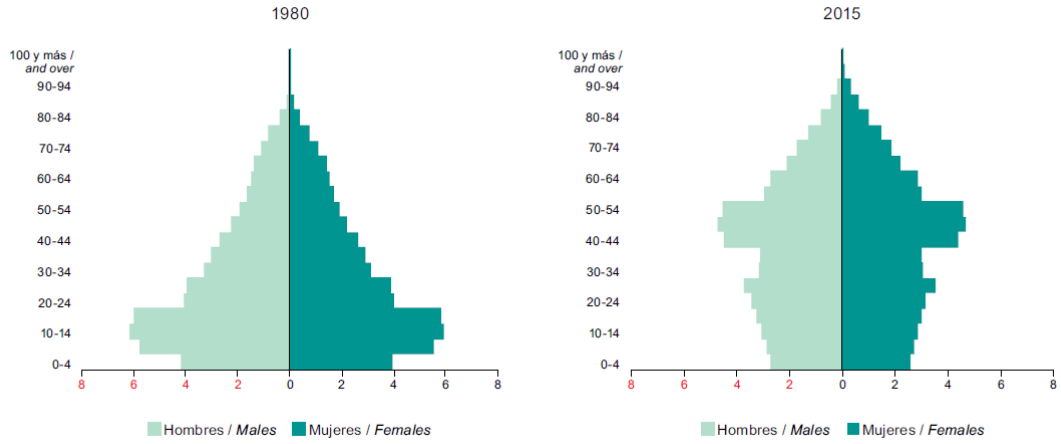


Figura 2.10. Cuba: distribución relativa de la población por sexo y grupos quinquenales de edad, 1980 y 2015.
Fuente: (CEPAL, 2015)



Actividad Propuesta.
Análisis de causas de la forma de la pirámide poblacional de Cuba.
Con base en la observación de la figura 2.10 y del análisis de información documental histórica de Cuba, identifica las posibles causas de las salientes que presenta su pirámide poblacional.



Actividad Propuesta.
Generación y análisis de pirámides poblacionales con recursos digitales.
Realiza la actividad 2.4 que se encuentra en la parte final de este capítulo

2.3.4. Distribución geográfica

La distribución geográfica es el aspecto demográfico relacionado con el ordenamiento de los centros urbanos dentro del territorio de análisis. La determinan: la cantidad de habitantes por unidad de superficie del territorio; la distribución de los pobladores dentro de los límites del territorio; los niveles y tendencias respecto a la densidad poblacional y el **grado de urbanización**[15].
El análisis de la distribución geográfica cobra relevancia durante la planeación estratégica de sistemas hidráulicos urbanos, ya que además de ser deseable conocer la cantidad de habitantes que habrá en el último día del periodo de diseño, también interesa conocer la ubicación de los nuevos asentamientos. Un sistema hidráulico urbano conlleva desde su proceso de planeación la predicción del crecimiento de la mancha urbana.

La distribución geográfica está estrechamente asociada con el establecimiento de los usos de suelo declarados en los instrumentos de la política ambiental por los distintos órdenes de gobierno, además de aquellos asociados con el decreto de usos en zonas urbanas, como los planes y programas de desarrollo urbano. En el tema 2.6 se aborda con mayor detalle el contenido y alcance de dichos instrumentos.

2.3.5. Componentes demográficos

No obstante que las características demográficas integradas por el volumen, estructura y distribución geográfica de una población en un territorio de interés son consecuencia de factores sociales, económicos y culturales, los componentes demográficos presentan mucha mayor injerencia. Los componentes demográficos son la fecundidad, mortalidad y migración. De estos

[15] Proporción de pobladores que residen en áreas urbanas respecto a la población total.

se suele describir su nivel, estructura y tendencia mediante indicadores absolutos, como en el caso de la natalidad en cierto año, o mediante valores relativos, como las tasas, que son más útiles cuando se comparan poblaciones independientemente de su tamaño.

Es importante entender que en el contexto demográfico suelen utilizarse las tasas brutas, las cuales miden el nivel en toda la población, es decir, para su cálculo se dividen entre toda la población. Esto no permite hacer comparaciones entre los distintos grupos poblacionales y, por ende, no se puede bosquejar una estructura, por ejemplo, una tasa de mortalidad bruta de una población no permite establecer cuál es la edad más vulnerable.

Haciendo una analogía entre el crecimiento poblacional y un balance de masa (ver apartado 3.1), se puede decir que la acumulación de habitantes (crecimiento poblacional positivo o negativo) será consecuencia de la integración de las entradas (inmigración y fecundidad) y las salidas (emigración y mortalidad). En este caso el término de transformación no aplica en la analogía.

Crecimiento poblacional = Fecundidad – Mortalidad + Inmigración – Emigración (2.1)

Es evidente que el aspecto demográfico que directamente se define a partir de los componentes demográficos es el volumen. Cada elemento de la ecuación mostrada representa una tasa, es decir, la velocidad con la que varía dicho componente con respecto al tiempo. En ese sentido, se puede decir que la mortalidad representará el número de decesos que ocurrirán por unidad de tiempo, y así respectivamente cada componente.

Así, conociendo las tasas de los componentes demográficos, el volumen de una población podrá definirse cuando se establezca un periodo determinado. Conociendo el diferencial de la población con respecto al tiempo se puede definir el tamaño que tendrá la población a partir de una población inicial. Esto es el fundamento de una proyección de población que se abordará con mayor detalle en apartado 2.4.

Los componentes demográficos de una población también son consecuencia de múltiples aspectos, los cuales se describen a continuación.

2.3.6. Fecundidad

Es el componente demográfico que engloba el análisis de la dinámica poblacional relativa a la capacidad intergeneracional de una población de un territorio de concebir nuevos pobladores. Surge del análisis de información proveniente, en parte, de los censos y conteos de población y vivienda, pero principalmente de las estadísticas vitales, que se nutren de los registros civiles y de encuestas con historias de embarazo.

El nivel de la fecundidad se relaciona con varios aspectos sociales, culturales y económicos. Como ya se ha mencionado en el apartado 2.1, una población que ha iniciado su desarrollo tendrá altos niveles de fecundidad al igual que de mortalidad.

El crecimiento poblacional debido al nacimiento de nuevos pobladores se establece mediante un indicador estándar llamado **tasa bruta de natalidad**, la cual se obtiene mediante la relación del número de nacimientos que ocurrieron en un periodo y el número promedio de habitantes en un año.

$$Tasa\ bruta\ de\ natalidad = \frac{número\ de\ nacimientos\ en\ el\ año\ de\ análisis}{promedio\ de\ habitantes\ en\ ese\ año} * 1000 \tag{2.2}$$

Sin embargo, un indicador que mejor significa la capacidad potencial de reproducción de una población es la tasa de fecundidad. Cada grupo quinquenal de mujeres, p. ej. los utilizados en México: (15 a 19, 20 a 24, …, 45 a 49 años de edad), habrá concebido a más pobladores en función de ciertas características sociales. La fracción del número de nacimientos en cada grupo quinquenal dividido entre el número total de mujeres de ese grupo, es el algoritmo para obtener las tasas de fecundidad por edad (TFE). Para integrar un solo indicador, estas 7 tasas se suman (ver ecuación 2.3), el resultado es la tasa global de fecundidad (TGF), la cual representa el promedio de hijos que tendría una mujer de una cohorte hipotética al término de su etapa fértil, sin considerar las tasas de mortalidad. La ecuación 2.2 muestra la relación numérica para obtener la TFE para el grupo quinquenal de 15 a 19 años.

$$TFE_{15-19} = \frac{número\ de\ nacimientos\ correspondientes\ a\ madres\ con\ edades\ de\ 15\ a\ 19}{número\ de\ mujeres\ de\ entre\ 15\ y\ 19\ años\ de\ edad} \tag{2.3}$$

$$TGF = \sum_{i=1}^{7} TFE_i \tag{2.4}$$

La TGF ha disminuido paulatinamente en México, en la década de los 60 del siglo XX presentaba un valor de 7.0; para el periodo de 2010 al 2015, 2.29; para el periodo de 2025 a 2030 la predicción es que disminuirá a 2.15 (CEPAL, 2015). INEGI concluye que la TGF nacional en 2014 fue de 2.21 con un periodo de análisis de 2011 a 2013 (CONAPO C. N., Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014, 2015). El comportamiento creciente en el número de mexicanos depende de este indicador, al disminuir a una TGF de 2.1, el crecimiento poblacional se estaciona y eventualmente será negativo.

Otro indicador que contextualiza a la capacidad de reproducción de una población es la edad media de la fecundidad (EMF). Esta indica la edad preponderante en la que las mujeres conciben. Se obtiene mediante un promedio ponderado, sumando los productos de las edades promedio de cada grupo y las tasas de fecundidad por edad, y dividiendo la suma entre la tasa global de fecundidad.

$$EMF = \frac{\sum_{i=1}^{7}(TFE)_i(promedio\ edad_i)}{TGF} \tag{2.5}$$

La edad media de fecundidad en México para el periodo de 2010 a 2015 es de 26.9 y aumentará ligeramente para el periodo de 2025 a 2030 a 27.0 años (CEPAL, 2015). Por otra parte, ENADID 2014 concluye que el grupo quinquenal preponderante es el de 20 a 24 con 126 nacidos vivos por cada 1000 mujeres de ese grupo de edad. En cuanto al grupo de 25 a 29, presenta un valor de 113. Ambos datos difieren ligeramente debido al periodo previo de análisis considerado por cada institución.

Es importante destacar que, a pesar de que un gran porcentaje de mujeres que habitan en zonas urbanas decide concebir su primer hijo a edades cercanas a los 30 años, en la actualidad se tiene un incremento en los nacimientos en el grupo quinquenal de 15 a 20 años. En el año 2014 por cada 1000 mujeres que corresponden a este grupo de edad existieron 77 nacimientos. Adicionalmente, es importante destacar que a mayor nivel de escolaridad menor es la TGF. Mujeres sin escolaridad presentan una TGF de 3.30; con educación primaria 2.99 y, con educación media superior y superior 1.79 (CONAPO C. N., Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014, 2015). La distribución porcentual de las tasas de fecundidad en América Latina, se muestran en la gráfica de la figura 2.11.

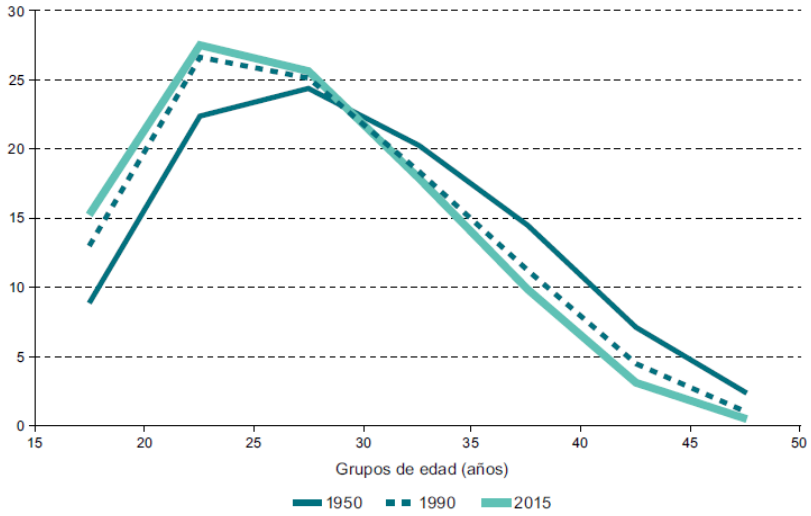


Figura 2.11. América Latina: distribución de las tasas específicas de fecundidad estimadas, por grupos quinquenales de edad, entre 15 y 49 años, revisión de 2015, años seleccionados *(En porcentaje)*.
Fuente: (CEPAL, 2015)

En el año 2014 se llevó a cabo la encuesta nacional de dinámica demográfica (CONAPO C. N., Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014, 2015). De esta se desprenden conclusiones relevantes de la dinámica poblacional nacional, particularmente de la fecundidad. La tabla 2.6 incluye las tasas de fecundidad por entidad federativa.



Actividad Propuesta.
Análisis de las tasas de fecundidad por entidad federativa.
Con base en el análisis de las tasas de fecundidad que alguna institución como CONAPO, ENADID, Estadísticas vitales o INEGI publiquen, determina la relación que guardan éstas con algunos indicadores de desarrollo social, cultural y económico. Concluye al respecto de lo observado.

2.3.7. Mortalidad

La mortalidad es el componente demográfico distintivo de la salud de los pobladores de un territorio. Se representa mediante indicadores absolutos y relativos. El más común es la tasa bruta de mortalidad, la cual significa la cantidad de defunciones que ocurren en cierto periodo, dividido entre el número total de pobladores. Esta información sintética es útil para establecer tendencias generales de la dinámica poblacional, lo que es suficiente para poder determinar proyecciones de población. Recuerda que, con base en la ecuación 2.1, uno de los elementos que determina el crecimiento de una población es la mortalidad. México presenta una tasa bruta de mortalidad general, para el periodo de 2010 a 2015, de 4.8 muertes por cada 1,000 habitantes. Se proyecta que para el periodo de 2025 a 2030 crezca a 5.4, debido al envejecimiento de la población.

Por otra parte, a partir de los registros administrativos, particularmente los del registro civil y las consecuentes estadística vitales, se establece la estructura de la mortalidad, es decir, indicadores desagregados, principalmente de sexo y edad. Cada grupo posee una mortalidad general asociada (p. ej.: el número de muertes en jóvenes de 15 a 19 años). Al integrar esta información se puede establecer la probabilidad de que la población alcance cierta edad, es decir, el tiempo más probable que dure la vida de un poblador promedio, a esto se le llama **esperanza de vida** que se asocia a cada edad y sexo; la más común es la asociada al nacimiento, llamada **esperanza de vida al nacer**.

La esperanza de vida al nacer en México para el año 2015 es de 74.95 años, que desagregada por género es: 77.68 para mujeres y 72.34 para hombres. La proyección para el 2030 es 76.97 en general y 79.41 y 74.64, respectivamente (CONAPO C. N., Documento metodológico: Proyecciones de la población de México 2010-2050, 2012).

Omitiendo los accidentes y homicidios, las causas de muerte general son variadas, pero las que más se registran en nuestro país son debidas a enfermedades relacionadas con el aparato circulatorio, diabetes tipo II y tumores malignos (INEGI, Mortalidad, ¿De qué mueren los mexicanos?, 2013). INEGI publica información anual que permite identificar las principales causas de muerte a nivel nacional y por entidad federativa. Dado que es información pública, lo puedes consultar en el portal de INEGI.

Tabla 2.6. Tasas de fecundidad por entidad federativa.

Entidad Federativa	2009 a	2014 b
Estados Unidos Mexicanos	2.29	2.26
Aguascalientes	2.62	2.26
Baja California	2.13	2.08
Baja California Sur	2.08	2.31
Campeche	2.26	2.16
Coahuila de Zaragoza	2.31	2.52
Colima	2.05	2.26
Chiapas	2.84	2.90
Chihuahua	2.24	2.30
Distrito Federal	1.78	1.47
Durango	2.56	2.53
Guanajuato	2.47	2.41
Guerrero	2.81	2.57
Hidalgo	2.33	2.26
Jalisco	2.64	2.32
México	2.11	2.12
Michoacán de Ocampo	2.33	2.47
Morelos	2.03	2.19
Nayarit	2.58	2.58
Nuevo León	2.15	2.19
Oaxaca	2.39	2.42
Puebla	2.46	2.44
Querétaro	2.28	2.23
Quintana Roo	2.20	2.15
San Luis Potosí	2.52	2.44
Sinaloa	2.16	2.21
Sonora	2.35	2.22
Tabasco	2.09	2.31
Tamaulipas	2.18	2.45
Tlaxcala	2.37	2.33
Veracruz de Ignacio de la Llave	2.27	2.18
Yucatán	2.06	1.98
Zacatecas	2.63	2.66

Fuente: (CONAPO C. N., Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014, 2015)

Otro aspecto fundamental del análisis de la mortalidad es la **mortalidad infantil**. Esta parte del componente demográfico es muy representativa de las condiciones de carencia y acceso a servicios básicos, asimismo del estado de preservación del ambiente. Los infantes de corta edad, sobre todo menores de un año, son sensibles a las condiciones patológicas externas, además de aspectos nutricionales. Esto hace que, a nivel mundial, la mortalidad en infantes sea uno de los principales indicadores del desarrollo de un País. México presenta, en el periodo de 2010 a 2015, una mortalidad infantil de 18.8 muertes por cada 1000 nacidos vivos. Se proyecta que para el periodo de 2025 a 2030 disminuya a 15.8 (CEPAL, 2015).

En América Latina, en cuanto a la tasa de mortalidad infantil, México se encuentra en el lugar número 12 de 20; 0.1 por debajo de la media (18.9). Lo superan países como Cuba, Chile y Uruguay (5.4, 7.1 y 11.2, respectivamente) (CEPAL, 2015).

2.3.8. Migración

Un migrante es aquel habitante que proviene de otro lugar de residencia y que no ha permanecido por más de 5 años en el territorio de análisis. La migración se clasifica en nacional e internacional. El concepto de migración internacional o externa se basa en que el lugar de residencia difiere del de nacimiento e incluye los movimientos a través de fronteras. La migración nacional o interna involucra un desplazamiento de habitantes entre entidades federativas; también este concepto se puede aplicar a nivel municipal. Ambas, la externa y la interna, son de interés para establecer la dinámica poblacional de un territorio.

Con la aplicación de un instrumento nacional que permita recabar información de la migración internacional, como lo son los censos y conteos de población y vivienda y encuestas demográficas, solo podrá identificarse el nivel y tendencia de la inmigración. Para poder calcular la tasa de migración, es decir la suma de la tasa de emigración y la de inmigración, tendrá que contarse con la información que otros países otorguen y en conjunto con la información nacional integrar una matriz de migración, misma que para su desarrollo se propone una metodología en los siguientes párrafos.

La demografía incluye el análisis migratorio y para ello, de todos los pobladores o de una muestra representativa, indaga el lugar de nacimiento y el lugar de residencia de los 5 años previos. Si estos difieren, entonces el habitante se considera migrante. Cuando el lugar de nacimiento difiere del lugar de residencia, o bien, el encuestado haya nacido en otro país que no sea México, entonces a este migrante se le denomina absoluto.

La migración también se estructura, es decir, se caracteriza al migrante en cuanto a su edad, sexo y aspectos sociales, económicos y culturales. Ello permite entender el fenómeno, caracterizarlo y, en su caso, actuar en consecuencia. En México existe el Instituto Nacional de Migración el cual, como parte de sus actividades, estudia el fenómeno migratorio, siempre en colaboración con las distintas dependencias de otros países.

Una vez recabada la información de migración, tanto nacional como internacional, se integran los datos mediante una matriz de migración. Este método permite establecer volúmenes de migrantes entre distintos lugares de origen y de residencia actual. Para su elaboración se establecen como filas los distintos lugares de residencia actual y como encabezados de columnas los distintos lugares de origen. En cada cruce se colocar el número correspondiente de habitantes con ese lugar de origen (oriundos) y de residencia actual. Finalmente se hace la suma horizontal de cada fila, que indica el número de habitantes que residen en tal lugar, y la suma vertical de cada columna, que indica el número de oriundos ese lugar. Cuando existen movimientos migratorios habrá variación entre el número de residentes y el número de oriundos. Evidentemente, cuando la cantidad de residentes sea mayor a la de oriundos, existe inmigración, caso contrario existe emigración. Teóricamente, si el ejercicio se hace de forma adecuada, la suma de residentes es igual a la de oriundos.

MATRIZ DE MIGRACIÓN CON REFERENCIA A 5 AÑOS ANTES, DATOS HIPÓTETICOS.

Municipio de residencia actual	*Municipio de residencia hace 5 años*				
	A	B	C	D	Total
A	35	19	22	18	94
B	22	45	19	9	95
C	11	17	45	22	95
D	16	24	25	74	139
Total	84	105	111	123	423

Figura 2.12. Ejemplo hipotético de una matriz de migración. Adaptado de Welti, 1997 p.143

Las tasas de migración se expresan en migrantes por mil habitantes. Evidentemente estas tasas podrán ser positivas o negativas, inmigración para el primer caso y emigración para el segundo.

A partir de los datos hipotéticos mostrados en la tabla 2.3, se establece que el sitio A tuvo un fenómeno de inmigración, ya que en este actualmente residen 94 y hace 5 años residían 84. Su tasa de migración es de 106.38, es decir, de cada 1000 habitantes 106.38 son inmigrantes. Para el caso del sitio B, los habitantes actuales son 95 pero hace 5 años eran 105, lo cual es reflejo de una migración negativa, la cual tiene un valor de -105.26, es decir que 105.26 habitantes de cada 1000 son emigrantes.

$$tasa\ migración\ de\ A = m = \frac{h.actuales - h.5\ años\ atras}{h.actuales} = \frac{94 - 84}{94} * 1000 = 106.38$$

$$tasa\ migración\ de\ B = m = \frac{h.actuales - h.5\ años\ atras}{h.actuales} = \frac{95 - 105}{95} * 1000 = -105.26$$

Como podrás observar cada sitio tiene tanto inmigración como emigración de, o hacia los otros tres sitios. Por ejemplo, el sitio D presenta globalmente inmigración, sin embargo, es un resultado tanto de entrada como de salida de habitantes. De forma más precisa obsérvese la fila de D, que significa sus habitantes actuales; de estos, 16 residían en A hace 5 años, 24 en B, 25 provienen de C y 74 ya vivían en D. En comparación con lo que se sucedía hace 5 años, en donde 18 habitantes vivían en D, pero ahora están en A; 9 que vivían en D pero ahora están en B; 22 que vivían en D pero que ahora están en C y 74 que siguen viviendo en D. Como resultado se establece que el sitio A con D tuvo un flujo neto de dos migrantes de D hacia A; B con D un flujo neto de 15 migrantes de B hacia D y de D con C un flujo neto de 3 habitantes de C hacia D. Finalmente la migración neta de D es:

$$tasa\ migración\ de\ D = m = \frac{h.actuales - h.5\ años\ atras}{h.actuales} = \frac{139 - 123}{139} * 1000 = 115.11$$

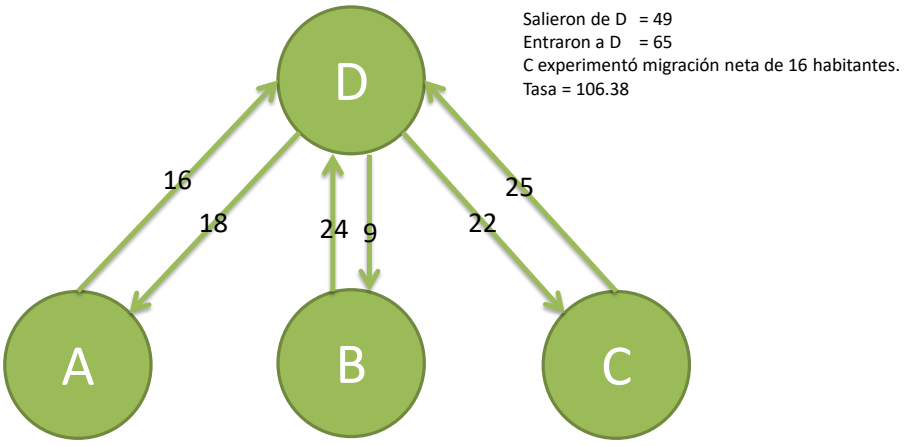
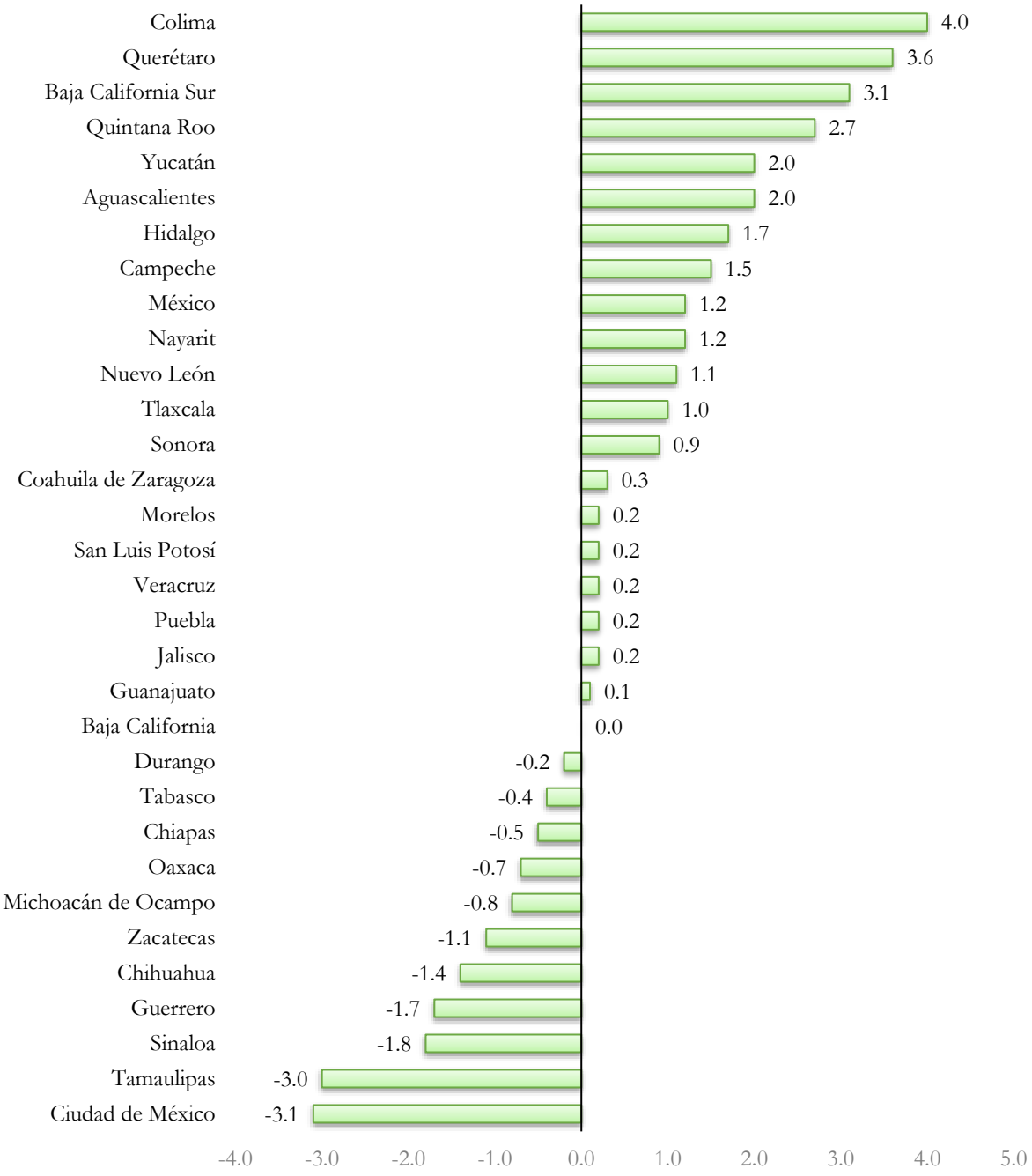


Figura 2.13. Fenómeno de migración mostrado en la Fig. 2.12

En México la tasa de migración internacional es negativa, -0.9 para el periodo 2010 a 2015, es decir, que existe un flujo saliente de habitantes: 0.9 de cada mil emigran (CEPAL, 2015). Una de las razones de este movimiento es la deficiente oferta de empleo y las malas condiciones de bienestar de la población, la cercanía que existe con Estados Unidos de América (EUA) y los distintos mecanismos ya establecidos de flujo no controlado. Durante la década de los 90 del siglo XX y hasta el primer quinquenio del siglo XXI se llevaron a cabo distintos estudios del fenómeno migratorio hacia EUA. El fenómeno migratorio que prevalecía en ese momento clasificó a México como uno de los países con mayor emigración del mundo. En esa década la tasa de migración oscilaba entre -4.5 y -6.0. Se espera que para el periodo de 2025 -2030 disminuya a -0.8 (CEPAL, 2015).

Durante el periodo de 2009 a 2014 cerca de 720,000 mexicanos partieron hacia otro país. El principal destino es EUA con un 86.3%, Canadá en segundo lugar con 2.2% y España con 2.1%. Las principales motivaciones, en orden de importancia, son: cuestiones laborales (67.8%), reunión con familiares (14.4%) y estudios (12.4%). Los estados que más "expulsan" migrantes son Guanajuato, Michoacán, México y Jalisco (CONAPO C. N., Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014, 2015).

En cuanto a la migración, México presenta un movimiento importante entre países y entidades federativas: 22.2 millones de habitantes, esto es que el 18.5% de la población son migrantes absolutos (CONAPO C. N., Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014, 2015). Estados como Colima, Querétaro, Baja California Sur y Quintana Roo presentan inmigración. Los estados que presentan mayor emigración interna son Ciudad de México, Tamaulipas, Sinaloa y Guerrero. Las principales motivaciones identificadas, en orden de importancia, son: motivos familiares (43.4%) y cuestiones laborales (23.4%) (CONAPO C. N., Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014, 2015). Cabe hacer mención que la inseguridad fue la motivación para el cambio de residencia de 6 de cada 100 migrantes.



Nota: El saldo neto migratorio es respecto a la población de 5 y más años que en agosto de 2009 vivía en una entidad distinta a la de su residencia en 2014

Figura 2.14. Porcentaje de saldo neto migratorio por entidad federativa según lugar de residencia 5 años antes de 2014

Fuente: (CONAPO, 2014)

Durante el análisis de la dinámica poblacional y la realización de una proyección de población, el hecho de omitir las tasas de migración, dado su complejo análisis, conllevaría a considerar al incremento como debido exclusivamente al **crecimiento vegetativo**[16]**,** también llamado natural. Para el caso de México no es recomendable la omisión de dicho componente, ya que como se ha explicado, su nivel es importante; no considerarlo puede conllevar a una sobreestimación de la población y, por ende, la alteración de la planeación y diseño de sistemas y obras civiles.



Actividad Propuesta.
Matriz y tasas de migración
Con base en lo aprendido en este subtema concluye la matriz de migración y las tasas correspondientes de la Actividad 2.5, que se encuentra al final de este capítulo. Concluye respecto de lo observado.

2.4 Proyecciones de población y métodos

En México para el estudio de la dinámica poblacional de un centro urbano se suele recurrir a instancias gubernamentales que de oficio realizan la recopilación de información de población y vivienda, el análisis de ésta y las consecuentes proyecciones de población. Sin embargo, en ocasiones la información obtenida de estas fuentes no cumple con la periodicidad ni con el enfoque deseado por el usuario. Además, se tiene el inconveniente de que en aquellas localidades con una población menor a 2 500 habitantes el Consejo Nacional de Población (CONAPO) no le realiza el análisis particular de sus componentes demográficos ni su proyección de población.

Cuando sea necesario predecir características de la población que no estén publicadas por CONAPO, será necesario considerar la información censal publicada por el INEGI y con esta realizar la proyección de población, o bien, en ausencia de estos datos, considerar la planeación, diseño y aplicación de instrumentos para recabar la información de una muestra representativa de la población y con esta proyectar.

Uno de los enfoques del análisis demográfico es el uso de las variables generadas para hacer una prospección del volumen, dinamismo y estructura de la población. La proyección de población es uno de los recursos de mayor valor para el proceso de planeación de un sistema u obra civil.

Para la previsión de los aspectos demográficos futuros de una población es necesario conocer los componentes demográficos más representativos de la población. Como ya estableció en el apartado 2.2, los valores de algunos componentes demográficos se actualizan cada año, particularmente la fecundidad y mortalidad, que se nutren de los registros administrativos, al

[16] Crecimiento poblacional debido exclusivamente a la natalidad y a la mortalidad

generarse las actas de nacimiento o las actas de defunción. Una proyección de población también requiere de conocer datos representativos de la migración interna y externa. La información institucional se enriquece y actualiza con las encuestas ENADID.

Como ya se ha establecido las proyecciones de población a nivel nacional, por entidad federativa y municipal forman parte de las actividades del Gobierno Federal. Las proyecciones de población publicadas por el CONAPO tienen alcances establecidos que pueden o no corresponder con las necesidades de información para un proyecto. El horizonte de planeación de dichas prospecciones, a partir del censo de población y vivienda del 2010, a nivel nacional y por entidad federativa fue de 40 años. A nivel municipal y por localidad se estableció un periodo máximo de 20 años. Lo anterior atiende al criterio de variabilidad por tamaño de universo, es decir que entre más grande es éste, menor es la varianza esperada.

En cuanto a la desagregación geográfica, aquellas localidades cuya población sea menor a 2500 habitantes, no fueron analizadas, es decir, que no se les identificaron sus variables demográficas y tampoco se les proyectó. La información de dichas localidades se integró en un indicador global, llamado "resto".

Cuando existe el reto de proyectar aspectos demográficos, surgen dos escenarios: contar con información confiable y precisa o no. Para el caso de que CONAPO haya analizado el comportamiento demográfico del centro urbano y la información sea aplicable al proyecto, se plantea su uso para la proyección como se muestra a continuación.

Escenario 1: Existencia de tasas de crecimiento poblacional

En caso de que exista información institucional de las tasas de crecimiento poblacional se utilizarán para realizar una proyección del volumen de la población. Es importante destacar que estas tasas son representativas de un crecimiento global y no manifiestan una desagregación por edad, sexo ni características socioeconómicas.

Las tasas que representan el crecimiento poblacional están asociadas al tipo de modelo con el cual fueron determinadas. Por ejemplo, si para su cálculo se utilizó una ecuación exponencial negativa (método geométrico) ésta deberá utilizarse siempre en este tipo de ecuación y declararse el método utilizado. Por otro lado, las tasas publicadas a nivel nacional e internacional suelen estar expresadas como tasas brutas, es decir, representan cocientes entre crecimientos (positivos o negativos) y la población media de la localidad. Así, la tasa de crecimiento en México que declara CEPAL para el periodo de 2010 a 2015 es de 13.8, que indica que durante ese periodo la población experimentó un incremento de 13.8 habitantes por cada mil.

Así, si se desea proyectar una población de la cual ya se han identificado las tasas de crecimiento poblacional, será necesario conocer el método con el cual se obtuvieron y con este mismo proyectar al año deseado. Es importante que el profesional de la ingeniería que considere el uso de estos datos, conozca la metodología utilizada para su obtención, ello le permitirá otorgar cierto de nivel de confianza a las proyecciones realizadas.

Para la proyección de población de localidades pequeñas se recomienda el uso de las tasas de crecimiento municipal publicadas por CONAPO. Estas tasas presentan el crecimiento de quinquenios (1990-1995, 1995-2000, 2000-2005 y 2005-2010). Lo más recomendable es considerar la última tasa disponible. Es importante que al utilizar esta información se cite la fuente utilizada.

Cabe hacer mención que las tasas de crecimiento publicadas por CONAPO o la CEPAL consideran la dinámica conjunta de los componentes demográficos, es decir, es la integración de correspondientes tasas de natalidad, mortalidad y migración.

Para ejemplificar el uso de las tasas publicadas por CONAPO se plantea calcular la población en la Ciudad de México que se espera tener año con año a partir del 2016. Las tasas que representan a los componentes demográficos se muestran en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Indicadores demográficos básicos para el año 2015 de la CDMX

Población del 2015	**8,854,600**
(TBN) Tasa bruta de natalidad*	14.413
(TBM) Tasa bruta de mortalidad*	6.671
(TCN) Tasa de crecimiento natural**	0.774
(TII) Tasa de inmigración interestatal**	0.766
(TEI) Tasa de emigración interestatal**	1.699
(TMI) Tasa de migración neta interestatal**	-0.933
(TMT) Tasa de migración neta internacional**	-0.073
(TCS) Tasa de crecimiento social total**	-1.006
(TCT) Tasa de crecimiento total**	-0.232

* Por mil
** Por cien
Fuente: CONAPO

La tasa de crecimiento total (TCT) es la suma de la tasa de crecimiento natural (TCN) más la tasa de crecimiento social (TCS).

$$TCN = TBN - TBM = \frac{14.413 * 1000}{1000} - \frac{6.671 * 1000}{1000} = \frac{7.66 * 100}{1000} = 0.766$$

$$TCS = TMI + TMT = -0.933 - 0.073 = -1.006$$

$$TCT = TCN + TCS = \frac{0.766 * 100}{1000} + \frac{-1.006 * 100}{1000} = \frac{-2.32 * 100}{1000} = -0.232$$

El componente demográfico de interés se obtendrá aplicando la ecuación 2.6. Esta permite establecer la población final (P_f) al término del periodo t, considerando una tasa de crecimiento Tc.

$$P_f = P_0(1 + Tc)^t \qquad (2.6)$$

Donde:

- P_f_ población final
- P_0_ población inicial
- Tc_ tasa de crecimiento

En este caso, aplicando la tasa de crecimiento total que publica CONAPO para la CDMX, para el año 2018 se tendrá una población de 8,793,114.85 habitantes.

$$P_{2018} = 8\,918\,653\,(1 - 0.00232)^{(2018-2015)} = 8{,}793{,}114.85\ habitantes$$

El cálculo matemático tiene un resultado fraccionario, sin embargo, se deberá redondear a la siguiente unidad, es decir: 8,793,115 habitantes.

De esta misma forma se pueden obtener los volúmenes de población desagregados. La tabla 2.8 muestra los resultados para los siguientes años.

Tabla 2.8. Volúmenes desagregados de los componentes demográficos para la CDMX (2016 -2020)

Característica	2016	2017	2018	2019	2020
Nacimientos	127,630	128,983	130,350	131,732	133,128
Defunciones	-59,069	-59,695	-60,328	-60,967	-61,614
Crecimiento vegetativo	68,535	69,261	69,261	69,261	69,261
Inmigrantes interestatales	67,826	68,545	69,272	70,006	70,748
Emigrantes interestatales	150,440	152,034	153,646	155,275	156,920
Crecimiento social nacional	-82,613	-83,489	-84,374	-85,268	-86,172
Crecimiento social internacional	-6,464	-6,532	-6,602	-6,672	-6,742
Crecimiento social	-89,077	-90,021	-90,976	-91,940	-92,915
Población total	8,834,057	8,813,562	8,793,115	8,772,715	8,752,362

Escenario 2: Cálculo de tasas de crecimiento con registros de censos y conteos de población

Una proyección de población se fundamenta en la modelación matemática del crecimiento poblacional de un corto periodo de tiempo previo, el cual es consecuencia del nivel y estructura de los componentes demográficos. Los registros del volumen, estructura y distribución geográfica de la población representan los insumos para la integración y calibración de un modelo matemático representativo del crecimiento poblacional.

El ingeniero civil de hace algunos años, dándose a la tarea de efectuar una atinada proyección de las necesidades de infraestructura de una población futura, efectuaba modelaciones numéricas con los elementos con los que contaba: habilidades matemáticas y registros de los Censos de Población y Vivienda de INEGI. Para tal efecto, analizaba visualmente la tendencia gráfica de una curva de población y la extendía, o bien consideraba una alta probabilidad de similitud del

comportamiento demográfico de alguna otra población con características similares y la utilizaba para proyectar.

EL avance tecnológico de las herramientas de cálculo, permiten de una forma rápida y precisa realizar la modelación matemática de los datos censales públicos de INEGI. El tipo de ecuación que mejor representa a los datos censales de un periodo anterior, obedece a la misma dinámica de los datos. Los tipos de ecuaciones que se ajustan de mejor forma a las líneas de tendencia de los datos, son:

1. Lineal
2. Logarítmica
3. Exponencial
4. Potencial

La elección de tipo de ecuación que mejor represente a los datos censales se puede realizar a partir de la determinación del valor de **R cuadrada**, que el mismo programa de cálculo puede ofrecer al graficar los datos y solicitar línea de tendencia.
Una vez obtenida la ecuación que mejor represente a los datos censales previos, ésta se puede utilizar para predecir el comportamiento del volumen de la población en un periodo posterior. Para ejemplificar esta metodología se considerarán los datos censales de la CDMX; se obtendrá la ecuación que mejor los representa y con ésta se proyectará del año 2016 al 2020. Así podrán compararse los resultados obtenidos con este método y los proyectados en el escenario 1.

Es importante recordar que, como ya se mencionó en los apartados 2.2 y 2.3, para una adecuada modelación de la dinámica poblacional, no es conveniente el uso de datos censales antiguos, razón por la cual no se recomienda considerar periodos previos mayores a 15 años.

De los datos públicos de CONAPO se obtiene la información de la población total y disgregada por género, que corresponden al periodo de 2010 a 2015. El objetivo es proyectar los grupos: a) total, b) mujeres y c) hombres, del año 2016 al 2020. Nótese que para este caso solo se consideraron los 5 años previos para una proyección más realista.

Tabla 2.9. Volúmenes desagregados de los componentes demográficos para la CDMX (2016 -2020)

Indicador	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Población a mitad de año	8,944,599	8,928,400	8,911,665	8,893,742	8,874,724	8,854,600
Hombres	4,278,921	4,270,160	4,260,221	4,249,725	4,238,757	4,227,297
Mujeres	4,665,678	4,658,240	4,651,444	4,644,017	4,635,967	4,627,303

Fuente: Portal de CONAPO

Utilizando el programa Excel se genera el gráfico mostrado en la figura 2.15, mismo que muestra del lado derechos las ecuaciones que mejor representan el comportamiento de los datos censales. Nótese que para este caso se trata de 3 ecuaciones logarítmicas, cuya R cuadrada vale 1.

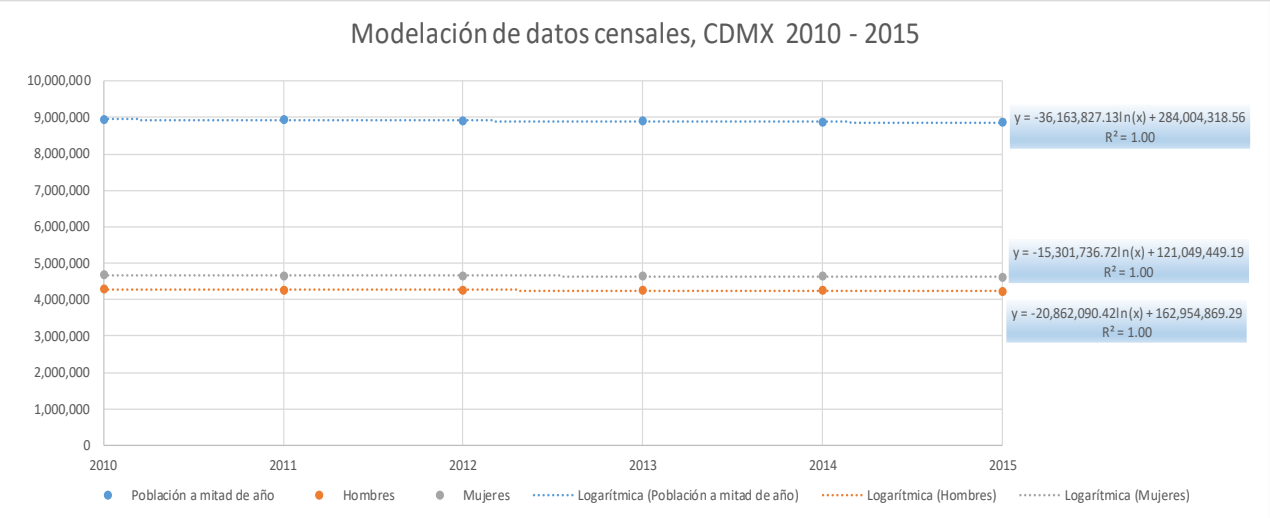


Figura 2.15. Fuente: Elaboración propia

Las ecuaciones obtenidas se pueden expresar de la siguiente forma:

$$Pob.tot._t = -36{,}163{,}827.13\ Ln(año) + 284{,}004{,}318.56 \quad (2.7)$$

$$Pob.muj._t = -15{,}301{,}736.72\ Ln(año) + 121{,}049{,}449.19 \quad (2.8)$$

$$Pob.hom._t = -20{,}862{,}090.42\ Ln(año) + 162{,}954{,}869.29 \quad (2.9)$$

Finalmente, considerando que la población a obtener en los años posteriores sucederá a mitad del año, se utilizan las ecuaciones 2.7, 2.8, y 2.9, en las que se sustituyen los años de interés, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 2.10.

Tabla 2.10. Volúmenes desagregados de los componentes demográficos para la CDMX (2016 -2020)

Indicador	2016	2017	2018	2019	2020
Población a mitad de año	8,838,436	8,820,503	8,802,577	8,784,661	8,766,754
Hombres	4,620,514	4,612,926	4,605,341	4,597,761	4,590,184
Mujeres	4,217,922	4,207,577	4,197,236	4,186,901	4,176,570

Es evidente que, los resultados obtenidos por el método que involucra el uso de las tasas obtenidas y publicadas por CONAPO (resultados de población total de la tabla 2.8) varían ligeramente de los resultados obtenidos con el método de modelación de datos censales (población a mitad del año de la tabla 2.10). Esto se debe a que la metodología que utiliza CONAPO para el análisis de la dinámica poblacional es mucho más refinada e identifica comportamientos más exactos que aquellos obtenidos mediante un ajuste de datos. Por tal motivo, es necesario que el diseñador esté consiente del nivel de confianza que ambos métodos involucran.



Actividad 2.6
Proyecciones de población
Con base en lo aprendido en este subtema realiza la actividad 2.6, misma que se encuentra al final de este capítulo.

2.5 Industrialización y urbanización

Todos los centros urbanos en el mundo (aldeas, villas, pueblos o ciudades), en función de su tamaño y de la calidad de vida de los habitantes, corresponden con alguna de las etapas del proceso de **urbanización**. Se debe entender a la urbanización como una actividad humana en la que un conjunto de personas coexiste en un mismo territorio, interactuando de forma sinérgica; mejorando constantemente la calidad de vida de todos los habitantes y potencializando la capacidad económica conjunta. Para llevar a cabo estas actividades los centros urbanos requieren contar con infraestructura, la cual está integrada por el conjunto de sistemas y obras civiles que facilitan las actividades económicas y productivas, y que brindan confort y protección sanitaria a la población.

La urbanización es un proceso dinámico y tradicionalmente creciente, para ello requiere de la capacidad de abastecimiento de los bienes necesarios, principalmente alimento, materias primas y energéticos. (Davis, 1955) explica que el urbanismo representa un cambio revolucionario en el patrón de la vida social; representa en sí un producto del desarrollo tecnológico y económico; afecta tanto a la estructura de las ciudades como de las zonas urbanas. Involucra la idea de que una vez establecida tiende a ser el centro de poder e influencia a toda la sociedad, sin importar que tan agrícola o rural sea.

La urbanización e industrialización convergen en un proceso simbiótico: para subsistir se requieren mutuamente. La causalidad entre urbanismo e industrialización no está bien definida, dependerá de cada caso particular. La urbanización ser sirve de la industrialización al proveer los productos que los habitantes requieren. Al contar con capacidad productiva (objetivo que persigue la industrialización) los costos asociados a la producción disminuyen y ello mejora la oferta de productos y, por ende, se contraen los costos. Por ejemplo, el abastecimiento asequible de alimento suficiente y con buena calidad a una población evitará el entorpecimiento del desarrollo social, lo cual se explica, en conjunto con otros argumentos, por la disminución del estrés asociado a proveer el alimento familiar.

En ausencia de un equilibrio entre la industrialización y urbanización existirá el riesgo de generar desempleo, pobreza, delincuencia, inseguridad, desigualdad y, en general, un deterioro del tejido social (Martínez, 2014). Sin embargo, si el crecimiento de la industria es mayor que el de la urbanización se suele dar el fenómeno de inmigración. Un ejemplo sucedió en la frontera norte de México, a finales del siglo XX, cuando en Ciudad Juárez, Chihuahua, hubo un fenómeno de inmigración de miles de obreros para el trabajo en la industria maquiladora, lo que obligó a la acelerada urbanización de la ciudad en conjunto con la ciudad vecina de EUA, El Paso Texas. La presencia tardía de la industrialización, como en el caso de Venezuela, puede retardar el fenómeno de disminución de las tasas natalidad (Martínez, 2014) del proceso de transición demográfica.

Cabe aclarar que, si se cuenta con la infraestructura para las comunicaciones y transportes, los centros urbanos e industria tendrán la posibilidad de estar distantes. Entre más eficaces son los sistemas de comunicación, mayor distancia podrá estar involucrada. Esto representa uno de los fundamentos de la globalización, la cual plantea un proceso de sinergia entre centros urbanos muy distantes.

Asimismo, un centro urbano industrializado florece con la presencia de mano de obra y capital humano capacitado, lo que genera ingresos económicos al trabajador y con ello la posibilidad de una mejor calidad de vida. La industrialización y la urbanización plantean un incremento de las necesidades y de la demanda de bienes y servicios y de acumulación de capital, logrando un aumento de la renta de la población, produciendo a su vez, en una etapa inicial, una expansión de la población (Kuznets, 1966).

Para que un centro urbano alcance un alto nivel de industrialización y con ello el desarrollo económico, se requiere que éste haya tenido un crecimiento sostenido durante un largo periodo de tiempo, a su vez se requiere un crecimiento poblacional.

El proceso de industrialización no solo se favorece por el aumento de la población sino también es el detonante de la transición demográfica que, como ya explicó en el subcapítulo 2.1, es el fenómeno que inicia con la reducción de tasas de mortalidad y fecundidad en una población. La población también aumenta con la industrialización, por que promueve el crecimiento social, es decir, la inmigración. El crecimiento poblacional debido a la urbanización conlleva la necesidad de mejora de las políticas públicas para la urbanización y en la infraestructura de servicios.

Economías con elevados niveles de ingresos presentan mayores niveles de esperanza de vida. La razón deriva de que a medida que crece el ingreso, se dispone de mejores grados de nutrición de la población, mejores sistemas de salud, trayendo esto consigo reducción en la mortalidad (Canning, 2011).

Cuando un centro urbano inicia su proceso acelerado de urbanización por crecimiento poblacional natural y social, difícilmente se detendrá, podrá haber variación en las tasas, pero siempre positivas; inclusive en presencia de catástrofes económicas (Martínez, 2014).

Para alcanzar una mejor comprensión del proceso de urbanización, los párrafos subsecuentes incluyen una descripción resumida de la historia de los asentamientos humanos en el mundo, desde aquellos que iniciaron en el periodo neolítico, lo que nos remonta a hace más de 8000 años, hasta la actualidad. Hacia el final del apartado, se describen los criterios que deberán prevalecer para la concepción de los centros urbanos del futuro, también llamados ciudades inteligentes.

2.5.1. Los primeros centros urbanos

La actividad humana de generar centros urbanos es relativamente reciente. Si consideramos que toda la historia de la vida del homo sapiens, desde que adquirió su actual anatomía, es decir 35,000 años antes de Cristo, ha sucedido en el último año, las primeras ciudades verdaderas surgieron hace apenas

tres semanas. Comparado con otros aspectos humanos, como el lenguaje, religión, estratificación social o la familia, la aparición de las ciudades es un fenómeno demasiado reciente (Davis, 1955).

La posibilidad del surgimiento de las primeras aglomeraciones de humanos, en los años 6000 a.C. a 4000 a.C., fue gracias a la invención y uso de herramientas rudimentarias y descubrimientos como la yunta, carreta, pequeñas embarcaciones, riego, metalurgia básica y la domesticación de ciertas plantas comestibles. Todo ello en sitios en donde gracias al clima apropiado, suelo fértil, la disponibilidad de agua y la topografía, hicieron posible la producción de los insumos necesarios para una cantidad limitada de habitantes que no producían su propio alimento. Este proceso tuvo un límite, aunque había cierta producción por hectárea no estaban dadas las condiciones para soportar una gran cantidad de habitantes.

A la par del desarrollo de las capacidades productivas de alimento surgieron otros actores: personajes que reservaron cantidades de productos que utilizaron para su consumo personal y como capital acumulado, lo que permitió el intercambio por otros bienes y servicios. Así, la presencia de mercaderes, artesanos, religiosos y gobernantes surgió, lo que diversificó los procesos productivos y permitió un mayor desarrollo, en términos de calidad de vida y de cantidad de habitantes.

Sin embargo, fueron muy pocos los asentamientos humanos que llegaron a desarrollarse al nivel de una pequeña ciudad. Los detonantes del desarrollo de los pueblos surgieron más adelante, cerca del año 3000 a.C., cuando apareció la escritura y la contabilidad, el bronce, el calendario y la burocracia. Las regiones del mundo en donde se iniciaron las primeras ciudades fueron Egipto, Mesopotamia e India, lo que algunos historiadores llaman "las primeras ciudades verdaderas". Durante los siguientes 2000 años las invenciones más importantes se encabezan por la escritura del alfabeto y la fundición del hierro. Fue hasta el periodo Greco-Romano que nuevas ciudades emergieron en nuevas regiones.

Durante toda esta etapa no hubo un presumible desarrollo de las civilizaciones, por el contrario, era notable un estancamiento, lo que puede explicarse por el aislamiento productivo y el excesivo poder de la élite urbana. Además, estas primeras ciudades solían estar envueltas en ambientes místicos y en ocasiones se amurallaban, evitando su propio crecimiento, tal fue el caso de los muros de la antigua Babilonia, Erech, Ur, Amarna, entre otras. Por otra parte, su nivel de producción era lento; la agricultura era muy estable y muy laboriosa, ello implicaba una gran cantidad de agricultores por cada habitante, lo que sin lugar a dudas era por la falta de herramientas óptimas. Esto continuó hasta que en los años 1300 a.C., en Asia, surgió el hierro y su implementación en la fabricación de nuevas herramientas.

El análisis del desarrollo de las primeras civilizaciones es una clara evidencia de que el tamaño de un centro urbano está en función directa de su capacidad de suministro de alimento. Otro aspecto fundamental que incide en el desarrollo, es la capacidad del movimiento de una gran cantidad de mercancías, ligeras y voluminosas, a grandes distancias: junto con el transporte va de la mano la comunicación.

En las primeras civilizaciones el transporte implicaba una fuerte demanda de tiempo y recursos. El único medio de transporte de mercancías voluminosas era mediante embarcaciones, esto limitaba el transporte a aquellos asentamientos costeros o que contaran con cuerpos de agua superficiales, ya sean naturales o artificiales. El transporte entre asentamientos era limitado a distancias muy cortas, y

solo para artículos muy valiosos y de reducido tamaño. Ello hacía que la zona de influencia de las civilizaciones fuera muy limitada.

Los orígenes tan distintos de centros urbanos tan cercanos (como sucede en la actualidad) dificultaba la unificación, y con ello una urbanización más desarrollada. Se debe entender que el nivel de urbanización en aquel entonces se veía beneficiado por el aumento de la población. En la actualidad no debe de prevalecer el criterio de la relación directa entre nivel de urbanización y el tamaño de la población.

Los primeros centros urbanos unificados tuvieron un origen forzado, con los llamados imperios, los cuales, eran muy vulnerables ante las posibles revueltas de los pueblos sometidos. Además, la comunicación tan lenta conllevaba falta de control. Algunas regiones que pertenecían a los imperios eran constantemente amenazadas por la reconquista por parte de comunidades vecinas o por bárbaros. Cuando una ciudad era reconquistada por bárbaros era nuevamente reedificada y se reimplantaba la agricultura y el sedentarismo: una constante falta de continuidad, ya que eventualmente cada centro urbano sería nuevamente reconquistado. Adicionalmente, la falta de desarrollo científico y tecnológico, que por obvias razones sucedía, propiciaba un crecimiento mínimo en la población.

En este período las ciudades de todo el mundo no alcanzaron en ningún caso una población mayor a 200,000 habitantes. Además, el nivel de urbanización fue muy pobre, lo cual se reflejaba en la proporción de habitantes urbanos respecto del total, la cual no superaba el 2%. Para tener un punto de comparación de esta cifra, en la actualidad a nivel mundial se tiene una proporción de 50% de humanos alojados en ciudades o metrópolis. Además, el nivel de industrialización, en ese momento enfocado hacia proveer alimento a la población, era muy deficiente, requiriendo del orden de 70 campesinos por cada habitante de una ciudad.

Un desarrollo mayor del urbanismo tuvo lugar hasta el periodo de 600 a.C. a 400 d.C. con el surgimiento de algunas ciudades al norte de la zona Greco-Romana en Europa; detonadas por el desarrollo tecnológico y cultural: herramientas y armamento de hierro, escritura alfabética, mejora de navíos e instituciones más democráticas. Ello mejoró y sistematizó la conquista de civilizaciones de la zona de influencia y, con ello, la unificación nacionalista. La cantidad de habitantes aumentó, también la capacidad de producción, pero sobre todo la capacidad de intercambio entre centros urbanos y, con ello, el comercio. Algunas ciudades alcanzaron un tamaño considerable: Atenas, en el siglo V a.C. alcanzó una población de entre 120, 000 a 180, 000; Siracusa y Carthage fueron quizá más grandes (Davis k. , El origen y crecimiento de la urbanización en el mundo, 1955).

El principal ejemplo de urbanización antigua fue Roma, su capacidad bélica y de organización gubernamental permitían el abastecimiento a una capital imperial. Se tuvo la capacidad de crear la ciudad más grande del mundo (hasta ese momento), con una importante zona de influencia; solo alcanzada por Londres a inicios del siglo XIX. Pese a su tamaño, el control de una extensión tan grande no fue posible y posteriormente fue invadida por otras civilizaciones menos desarrolladas. Gracias a esto es que en la actualidad vemos una diversidad cultural en el noroccidente de Europa, cuyas principales ciudades, durante los siglos XIV y XV tuvieron que empezar nuevamente su edificación, pero con la ventaja de contar con una población numerosa y con cierto avance tecnológico, ello permitió que durante el oscurantismo se tuviera un repunte en el desarrollo de la urbanización, superando lo alcanzado en el antiguo mundo.

Las ciudades noroccidentales de Europa siguieron con el desarrollo de la agricultura, transporte y comunicación, conquista de nuevos territorios, apertura de nuevas rutas comerciales y mejora en la capacidad de producción, lo que involucró la aparición de maquinaria y el uso de combustibles fósiles para su funcionamiento. Esto se conoce como la primera revolución industrial. Ello significó una disminución en la dispersión de la población y con ello una genuina urbanización, es decir, por primera vez una migración masiva de población rural hacia zonas urbanas.



Figura 2.16. Restos de la Antigua Ciudad de Roma.
Fuente: (pxhere, 2017)

2.5.2. La urbanización en el siglo XIX

Durante el siglo XIX la urbanización se desarrolló más que en toda la historia previa del mundo. Las áreas de influencia de los centros urbanos, a partir de ese momento, no tuvieron límites, se podría decir que los países vecinos de cualquier país ya era el mundo entero. Ello significó que el potencial de intercambio económico tuvo un crecimiento exponencial. Algunos países en ese momento (lo que sigue pasando en la actualidad) no podían mantenerse sin el apoyo de otros países.

El mundo inició ese siglo con una población de 889 millones, fue tal el crecimiento de la población que para finales de ese mismo siglo la población se había duplicado. La cantidad de ciudades también aumentó, siendo que en 1800 había menos de 50, para mediados del siglo XX se había llegado a 900. Pero lo más importante en términos de urbanización, es que la población que vivía en zonas urbanas (ciudades de más de 100, 000 habitantes) aumentó de 15.6 millones a 313.7 millones, lo que obedece a un fenómeno de migración de las zonas rurales a las urbanas.

Es claro que la tendencia del ser humano actual es vivir en zonas urbanas (Davis k. , El origen y crecimiento de la urbanizacióin en el mundo, 1955). Sin embargo, esto nos lleva a ciertos cuestionamientos de la viabilidad del surgimiento de una población enteramente urbana:

> ***¿Quién proveerá las materias primas para los productos que las ciudades requieren?***
> ***¿Cuál es el límite de la proporción entre la población rural y urbana?***
> ***¿Qué cambios son necesarios en la industrialización para cubrir las necesidades de las ciudades del futuro?***

Algunas respuestas a estos cuestionamientos podrán ser contestadas con el análisis de la información contenida al final de este capítulo.

En esta etapa de la historia mundial, particularmente en la región noroccidental de Europa, surgieron avances tecnológicos que cambiarían el destino de la humanidad. A esto se le conoció como la primera revolución industrial. Tuvo un impacto en la evolución de la urbanización, generando una atracción de la población rural a zonas en proceso de urbanización. Elementos como la locomotora de vapor, la pila eléctrica y el telégrafo, impulsaron de manera explosiva las comunicaciones entre centros urbanos y, con ello, la calidad de vida de los habitantes, factores detonantes para el proceso de urbanización.

2.5.3. La influencia de la industrialización noroccidental europea

A mediados del siglo XX la región del mundo más urbanizada era el noroccidente de Europa y sus zonas de influencia industrial. Esa lista también incluía a Oceanía, Estados Unidos y Canadá. Estas regiones encabezaban la industrialización y el desarrollo urbano.

Posterior al auge industrial de la zona noroccidental europea le siguió una disminución paulatina en la tasa de urbanización en aquellos países pioneros, sin embargo, a nivel global siguió aumentando. Esto se explica por un efecto de dispersión de la industrialización; aquellos países influenciados por Europa adaptaban sus políticas para tener semejanzas y ello impulsó a nivel global el proceso de urbanización.

2.5.4. Metropolización

El proceso de urbanización, como ya se ha expresado en párrafos anteriores, es consecuencia de múltiples factores (comunicaciones y transportes, abastecimiento de alimentos, industrialización, etc.). Un detonante de la metropolización fue la segunda revolución industrial, la cual surgió cuando se implantaron los procesos automatizados de producción en masa. Además, esta incluyó un suministro continuo de energía en la población, tanto para el transporte como a nivel doméstico. Debido al avance en el transporte y comunicación, los países industrializados pudieron trasladar la industria a zonas menos desarrolladas; además, con el surgimiento del

teléfono, radio, televisión e internet, hubo mejora en las comunicaciones locales y entre ciudades y países.

Si un centro urbano satisface con holgura sus necesidades básicas, cuenta con la infraestructura para una adecuada calidad de vida, mantiene las capacidades económicas de sus habitantes y cuenta con el espacio y las políticas adecuadas de uso de suelo, experimentará una dispersión, término que deberá entenderse como el crecimiento centrífugo de la mancha urbana. Existe una relación directa entre el crecimiento poblacional y la expansión urbana. Aquellas poblaciones boyantes corresponderán con grandes extensiones territoriales. De hecho, existen casos en los cuales el crecimiento de varios centros urbanos aledaños, convergen, generando un único centro urbano. Las mismas fuerzas que impulsan a la urbanización son las que propician su dispersión (Davis k. , El origen y crecimiento de la urbanizacióin en el mundo, 1955)

A un centro urbano se le denomina **metrópoli** cuando el territorio que ocupa es amplio, su importancia comercial y cultural es relevante y en éste habitan millones de habitantes. Este adjetivo no está caracterizado cuantitativamente por la legislación nacional, es más una convención social. Sin embargo, en la actualidad existe una tendencia en las grandes ciudades a expandirse, pero no precisamente del centro hacia afuera. El fenómeno se intensifica en la periferia, en donde existe el surgimiento de asentamientos regulares e irregulares que se engrosan. Por la relativa lejanía con el centro de la metrópoli son más asequibles por los nuevos pobladores, manteniendo el beneficio de establecerse en el territorio de influencia de una gran ciudad. Entre más alejado esté el asentamiento del centro urbano, pero dentro de su zona de influencia, mayor será su crecimiento.

El crecimiento de la mancha urbana genera un efecto de crecimiento en los grandes centros urbanos cercanos y, con ello, un fenómeno de metropolización más amplio, que genera el surgimiento del siguiente nivel de urbanización: la megalópolización. Un claro ejemplo de este nivel de urbanización se tiene en nuestro país, en la región que rodea al Valle de México, en la cual varias metrópolis se han integrado en lo que se ha denominado: Megalópolis de la Región Centro (ver figura 2.17).

Las megalópolis representan centros urbanos que desde luego deberán corresponder con el concepto de ciudades inteligentes, mismo que se describe a continuación.

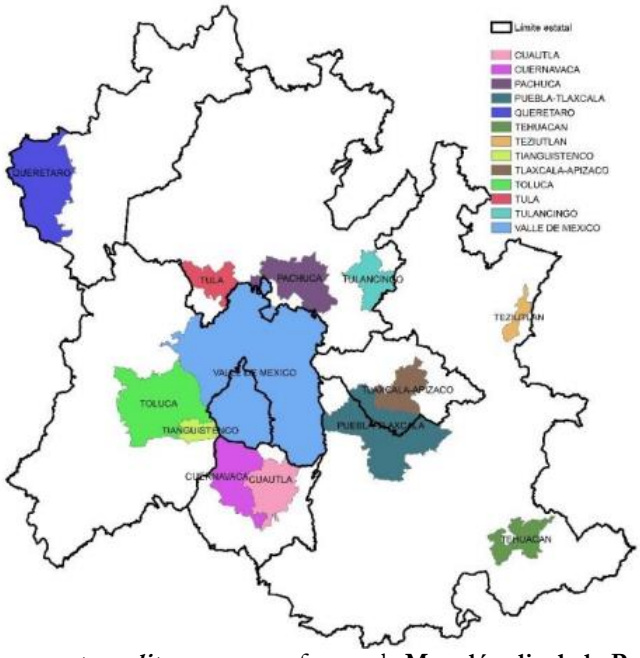


Figura 2.17. Las 13 ***zonas metropolitanas*** que conforman la **Megalópolis de la Región Centro** (**MRC**) del país. **Fuente:** CESOP de la Cámara de Diputados.

2.5.5. Los centros urbanos del futuro: Ciudades Inteligentes

Al igual que un organismo vivo las ciudades tienen necesidades vitales. Su dinamismo y requerimientos de sistemas refinados para su funcionamiento lo asemejan a la complejidad biológica. Una ciudad requiere de un suministro constante de productos y energía para sus necesidades básicas y para el emprendimiento de nuevas acciones; requiere ser aseada y ordenada; necesita estar comunicada con sus similares; genera residuos sólidos y líquidos que deberán ser desalojados y dispuestos correctamente; para su confort requiere una atmósfera limpia y, si su nivel cultural es alto, se responsabiliza de habitar en un ambiente protegido. Asimismo, los sistemas que la constituyen deberán estar bien comunicados. La fortaleza, cuidado y atención de la ciudad le dará protección ante cualquier amenaza. Cuando ésta alcanza un nivel alto de madurez es resiliente y es capaz de identificar sus debilidades, necesidades y áreas de oportunidad. Así, entender la complejidad del cuerpo humano nos permite vislumbrar las características ideales de una ciudad que transmita responsabilidad, paz y armonía.

El perfil de un habitante de una ciudad inteligente apunta hacia personas críticas, conscientes de la importancia del desarrollo sostenible y, sobre todo, en búsqueda de seguridad, fuentes de empleo bien remuneradas, servicios eficientes, transporte y movilidad eficaz, alta oferta académica y cultural, conectividad, comercio y plusvalía. Acorde con la ONU en la actualidad el 50% de la población habita en ciudades o metrópolis, y se espera que aumente al 67% para el año 2050.

Una ciudad inteligente también será capaz de adaptarse a los cambios que la sociedad civil presenta, tal es el caso del fenómeno de singularización familiar, es decir, familias de un solo miembro; la equidad de género, que involucra un aumento en la proporción de mujeres en el sector productivo; la diversidad conyugal y la adopción; y la creciente migración internacional impulsada por el fenómeno de globalización. Se prevé que el crecimiento de estas ciudades sea más lento y siempre planificado.

Las ciudades inteligentes corresponden con el fenómeno de **globalización**, el cual ha sucedido desde el origen de la urbanización. La globalización se detona con la desregulación financiera entre países. Se dice que el término *global* apareció por primera vez como parte de un promocional bancario, "La primera tarjeta global". El proceso de globalización es posible con el desarrollo constante de la comunicación entre países, también requiere de un sistema eficiente y eficaz de transporte de bienes y pasajeros; pero sobre todo busca la plataforma que le da la urbanización de los países. Harvey establece que estos elementos (desregulación financiera, comunicaciones, transportes y urbanización), en conjunto, abren un abanico de posibilidades de acumulación de capital a nivel global. Las ciudades inteligentes formarán parte de este proceso mundial, algunas ciudades jugarán un rol productivo, algunas de suministro de materias primas, algunas otras la manufactura y maquila, pero todas ellas jugarán un papel de consumidores de ciertos productos.

¿La urbanización es consecuencia de la globalización?

Es tentador afirmarlo, sin embargo, a partir del análisis del origen de la urbanización, es evidente que la globalización es una consecuencia natural de la existencia de grandes urbes, surgiendo de las conexiones entre grandes ciudades, y generando un sistema de intercambio favorecido por la desregulación financiera y la mejora constante de las comunicaciones y transportes.

Con respecto a la población rural (Davis, 1955) indicaba a mediados del siglo XX que el desarrollo tecnológico tiene a una visión centrífuga más que centrípeta. Por ello, podría resultar que el urbanismo, en el sentido de **vaciar el campo y concentrar mucha gente** en pequeñas zonas cambie, pero en la dirección de regresar gente al campo de una forma más ordenada, con propósitos de habitar y de industrializar: el término rural desaparecería, para sustituirse por una variante de urbanismo.

Las ciudades inteligentes surgirán paralelamente a la **tercera revolución industrial**, también llamada la *revolución digital*. Incluye la transición energética, lo cual privilegia el uso de fuentes renovables en la infraestructura; la digitalización, que consiste en el constante registro, manejo y uso de un gran cantidad de datos (*big data*) de cualquier aspecto de la vida humana (transporte, clima, tránsito, opinión, comercio, cultura, comunicación, etc.) para la toma de decisiones; y la descentralización de los procesos productivos, también conocida como tercerización, la cual consiste en hacer más eficientes y rentables a las empresas mediante el enfoque en los procesos que le agregan más valor a su actividad y relegando actividades secundarias a la contratación de externos que le vendan bienes o servicios.

Una ciudad inteligente tendrá éxito sí, y solo sí, los criterios que consideraron sus planeadores mantienen un equilibrio entre los tres ejes de la sustentabilidad, que como se detalló en el capítulo 1, son: sociedad, ambiente y economía. Lo que generará una ciudad con adecuada calidad de vida, competitivamente económica y con la menor cantidad de impactos ambientales. Al omitir cualquiera de estos tres criterios el desarrollo no será sostenible en el tiempo.

Las ciudades del futuro no estarán exentas de catástrofes naturales (sismos, huracanes, incendios forestales, erupciones volcánicas, entre otras), tampoco de las nuevas amenazas del mundo digital (hackers, ciberataques, robo de datos, etc.). Ante un ataque o siniestro, para evitar una crisis inmanejable que conlleve al colapso, debe prevalecer la **resiliencia**; ésta fortalece sistemáticamente a la ciudad ante nuevas amenazas. En este contexto la resiliencia debe entenderse como la capacidad de la ciudad para aceptar el daño, hacerle frente, echar a andar mecanismos previamente diseñados para la reparación, contabilizar los daños y, sobre todo, generar un blindaje ante un siniestro similar en el futuro. El objetivo que se busca con la resiliencia es la continuidad en la funcionalidad de la infraestructura (Etezadzadeh, 2016). Una ciudad preparada para cualquier eventualidad es reflejo de una ciudad resiliente. Una vez que la crisis cesa deberá existir una realimentación por parte de todos los actores involucrados (gobierno, sociedad, academia, operadores e inversionistas). Es claro que una capacidad de adaptación es reflejo de un criterio flexible y de apertura. Los involucrados deberán estar conscientes de la importancia de un ambiente colaborativo.

Otra característica de las ciudades inteligentes que marcará una rotunda diferencia con las ciudades tradicionales de finales del siglo XX será la procedencia, proceso de manufactura e impacto en la disposición de los productos que usa y consume. Si bien en la actualidad algunos productos comerciales se etiquetan con adjetivos como *orgánico* o *verde*, los criterios que deberán prevalecer para certificar a los productos del futuro tendrán que ir más allá de identificar los fertilizantes o agroquímicos utilizados. La elección de los productos que se utilizarán en las ciudades inteligentes se basarán en el análisis de su ciclo de vida, es decir, la cuantificación de la energía asociada y su procedencia; la liberación de contaminantes al ambiente y la evaluación de los impactos ambientales asociados; los recursos naturales que fueron necesarios para obtener la materia prima, su manufactura, transporte, comercialización, uso y consumo y disposición final responsable. Prevalecerán aquellos productos que minimicen o nulifiquen los residuos generados. Se incentivará, por parte de los gobiernos, la reinserción de los residuos en cadenas de producción como materias primas, concibiendo este hecho como una oportunidad de negocio más que una pérdida económica. (CEPAL, 2015)

El sector productivo y la sociedad revalorarán nuevamente a los productos como bienes escasos, que tienen características apreciables por su durabilidad y servicio, dejando como parte de la historia al consumismo, evolucionando el simbolismo del consumo, en términos de status y renovación constante, hacia la preservación de los bienes materiales el mayor tiempo posible. Prevalecerá la renta más que la venta, la contratación más que la compra y los servicios *on demand* más que la adquisición. Los que nos convertirá en una sociedad más cercana al desarrollo sustentable.



Actividad Propuesta.
Línea del tiempo de la urbanización e industrialización mundial
Con base en lo aprendido en este subtema elabora una línea del tiempo de los eventos más relevantes de la urbanización e industrialización. Compleméntalo con los eventos que esperas sucedan hacia el final del presente siglo.

2.6 Instrumentos de política ambiental para regular el uso del suelo y las actividades productivas en el país.

La Federación, mediante la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), formula y aplica las bases para definir la política ambiental nacional y sus instrumentos. La política, en el contexto de la planeación, se entiende como un conjunto de criterios, lineamientos o principios que, desde la documentación constitutiva, dirigen la planeación de los niveles inferiores; también es la que los actores involucrados consideran para la toma de decisiones.

En el ámbito de la protección del ambiente, la política ambiental que establece la LGEEPA contiene lineamientos obligatorios que orientan las acciones de preservación y restauración del equilibrio ecológico, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la protección al ambiente, que tendrán el carácter de instrumento de política ambiental, y que se denominan **criterios ecológicos**.

En relación con la urbanización, industrialización y del ordenamiento territorial, en la LGEEPA prevalecen los siguientes criterios ecológicos que definen su política ambiental:

1. *Los ecosistemas son patrimonio común de la sociedad y de su equilibrio dependen la vida y las posibilidades productivas del país;*
2. *Los ecosistemas y sus elementos deben ser aprovechados de manera que se asegure una productividad óptima y sostenida, compatible con su equilibrio e integridad;*
3. *Quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación implique;*
4. *El control y la prevención de la contaminación ambiental, el adecuado aprovechamiento de los elementos naturales y el mejoramiento del entorno natural en los asentamientos humanos, son elementos fundamentales para elevar la calidad de vida de la población.*
5. *A través de la cuantificación del costo de la contaminación del ambiente y del agotamiento de los recursos naturales provocados por las actividades económicas en un año determinado, se calculará el Producto Interno Neto Ecológico. El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática integrará el Producto Interno Neto Ecológico al Sistema de Cuentas Nacionales.*

Uno de los instrumentos de la política ambiental es el **ordenamiento ecológico**, el cual mediante programas persigue dos objetivos: a) propiciar el adecuado establecimiento de los usos de suelo y de las actividades productivas y b) su regulación. Ello permitirá el cumplimiento de los objetivos de los criterios ecológicos. De forma concreta: la preservación, protección,

restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como para la localización de actividades productivas y de los asentamientos humanos.

La zonificación y subzonificación son los instrumentos de planificación de carácter técnico que permiten ordenar el territorio en función del grado de conservación y representatividad de sus ecosistemas, la vocación natural del terreno, de su uso actual y potencial.

Así como en el gobierno, los ordenamientos territoriales incluyen tres niveles: el **federal, estatal y municipal**; entre más local, el nivel de especificación se incrementa. La Federación formula aplica y evalúa los programas de ordenamiento ecológico general del territorio (ordenamiento general). A su vez, los estados, con base en el general del territorio, formulan los correspondientes para su extensión territorial (ordenamiento regional), pudiendo ser de la totalidad o solo de una parte del territorio. En este sentido, cuando la región ecológica corresponda a dos o varios estados y múltiples municipios, la Federación organizará el ordenamiento regional considerando la participación de todos los niveles de gobierno involucrados.

Finalmente, corresponde a los municipios la creación y administración de zonas de preservación de los centros de población, parques urbanos, jardines públicos, ejidos, comunidades y pequeñas propiedades y demás áreas análogas previstas por la legislación local. Asimismo, de forma congruente con lo establecido en los planes de ordenamiento ecológico general de territorio y los regionales, los municipios formulan, expiden y evalúan sus programas de ordenamiento ecológico local del territorio (ordenamiento local), así como la regulación, fuera de los centros de población, del uso de suelo. En el caso de la zona urbana, establece los criterios de regulación ecológica, los que deberán ser considerados para la conformación de los planes de desarrollo urbano de la localidad. En el caso en el cual se considere el surgimiento de un centro urbano o su ampliación se deberá considerar lo previsto en el programa de ordenamiento ecológico local.

2.6.1. Ordenamiento ecológico del territorio

La LGEEPA en su Art. 19 establece las consideraciones para la conformación de los programas que establezca el ordenamiento ecológico, tal es el caso del análisis de las características y naturaleza de los ecosistemas existentes y el equilibrio con los centros urbanos; la vocación de cada zona en función de sus recursos naturales; la distribución geográfica de la población y el nivel e impacto ambiental por la urbanización e industrialización. Asimismo, se deberá hacer una prospección de los posibles impactos ambientales por el crecimiento potencial de la población.

Como ya estableció en párrafos anteriores existen tres categorías de ordenamiento territorial en función de los niveles de gobierno. En el caso del primero, se formula por la SEMARNAT y tiene por objeto la regionalización ecológica del País. Para ello, se podrá contar con la participación de grupos y organizaciones sociales y empresariales, instituciones académicas y de investigación, y demás personas interesadas. Lo mismo sucede a nivel local, en donde al menos deberán existir mecanismos de difusión y consulta pública.

Para la formulación y evaluación de los programas de ordenamiento territorial, podrá existir realimentación entre distintos niveles de gobierno. Esto se traduce en una asesoría de la

Federación hacia las autoridades estatales y locales; a su vez, éstos podrán hacer recomendación a la Federación para la integración y mejoramiento del ordenamiento ecológico general del territorio.

2.6.2. Instrumentos económicos

Los principales mecanismos de los que pueden echar mano los distintos órdenes de gobierno en la esfera de su competencia para el cumplimiento de los criterios ambientales que definen la política ambiental general, regional y local, consisten en normas o códigos administrativos que permiten incentivar fiscal, económica y financieramente las prácticas de preservación, protección, restauración y uso sustentable de recursos naturales, por parte de la industria, comercio y sector productivo.

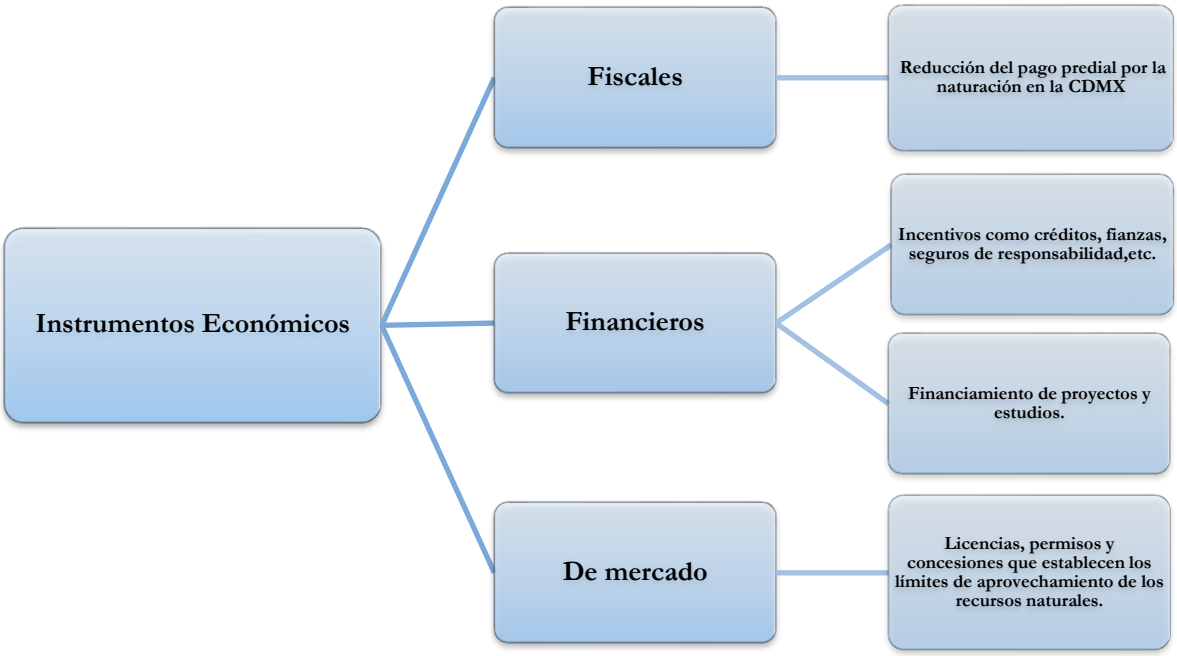


Figura 2.18. **Instrumentos económicos**. Elaboración propia con información de la LGEEPA.

Por otra parte, estos instrumentos buscan la sensibilización y concientización por parte de los actores involucrados acerca de los beneficios, costos y consecuencias ambientales que conllevan sus acciones y, por ende, la inclusión de los criterios ambientales en sus políticas empresariales. Cabe aclarar que la Legislación nacional establece que serán privilegiados, para el otorgamiento de estímulos fiscales, aquellos estudios, proyectos o actividades relacionadas con la innovación y desarrollo tecnológico para evitar, reducir o controlar la contaminación o deterioro ambiental, así como el uso responsable de recursos naturales y energía.

2.6.3. Criterios ambientales para el desarrollo urbano y vivienda

Los planes y programas de desarrollo urbano de los tres órdenes de gobierno están supeditados a lo establecido en los planes de ordenamiento ecológico del territorio (general, regional y local). Estos persiguen establecer usos de suelo sinérgicos que promuevan el urbanismo sostenible.

Considerando un inventario ambiental se destinarán extensiones de terreno para distintos usos, privilegiando el equilibrio entre éstos. Para corresponder a los principios de la urbanización explicados en el apartado 2.5, en los cuales se establece una interrelación entre la urbanización e industrialización, la legislación nacional establece que, en el caso de las zonas para el crecimiento poblacional, deberá existir concordancia entre el uso habitacional y el productivo (industrial y comercial), siempre y cuando esto no represente un riesgo a la salud y vida de los pobladores. Tan es así que en el caso de las actividades altamente riesgosas[17] se deberá establecer una zona de amortiguamiento que proteja a la población ante algún siniestro. Asimismo, se deberá evitar el crecimiento urbano en zonas en donde exista riesgo potencial por algún fenómeno natural eventual o debido al cambio climático.

Los programas de desarrollo urbano deberán incentivar la movilidad eficiente mediante el uso de transporte colectivo; motivarán la ausencia y, en su caso, reparación de desequilibrios ecológicos; preverán las necesidades futuras de recursos de la población, así como también el crecimiento más probable, en términos de volumen de la población y su distribución geográfica. Con respecto a la captación y uso del agua, deberán incluir la identificación de los impactos al ambiente, en términos cuantitativos y cualitativos, incluyendo los costos por su tratamiento

2.6.4. El ambiente y las actividades productivas

La representación económica del deterioro ambiental provocado por las actividades productivas, se establecerá por el Sistema de Cuentas Nacionales de México (SCNM); mediante la emisión de las "Cuentas Económicas y Ecológicas de México" (SCEEM).

Para la obtención del producto interno neto ecológico (PINE) es necesario el conocimiento del producto interno neto (PIN), que se obtiene a partir de restarle al producto interno bruto (PIB)[18] el consumo de capital fijo. El PIN, además de constituir un importante indicador macroeconómico que toma en cuenta el desgaste de sus activos fijos, es la variable sobre la cual se realizan los ajustes derivados de los cambios cuantitativos y cualitativos en los recursos naturales y el medio ambiente, para obtener el PINE (SCNM, 2008).

[17] Una actividad altamente riesgosa es la que comprende aquellas actividades industriales, comerciales o de servicios, que manejan materiales con características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas e inflamables, tomando en cuenta el volumen de manejo y la ubicación del establecimiento respectivo. **Fuente:** LGEEPA
[18] Medida exhaustiva, corresponde a la suma de los valores monetarios de los bienes y servicios de demanda final producidos durante un periodo de un año.

Para poder cuantificar económicamente los recursos naturales es necesario su concepción como **activos no producidos**. Con ello, el concepto de activo adquiere nuevas dimensiones, al reconocer que los recursos naturales y el ambiente interactúan con la actividad económica, influyendo en su calidad actual y futura. De esta forma, los recursos dejan de ser considerados bienes libres y de oferta ilimitada, para adquirir la categoría de bienes escasos (SCNM, 2008).

Al asignarles la categoría de activos a los recursos naturales, su tratamiento en la contabilidad económico ambiental es similar al de los activos económicos producidos. Por ello, es necesario que se asigne a los recursos un valor monetario y se calculen los costos por el **agotamiento y la degradación**, con el propósito de integrarlos a los demás flujos monetarios de la economía y dar lugar al cálculo del PINE (SCNM, 2008).

Para integrar los balances de los activos no producidos, se requiere que los recursos sean susceptibles de ser cuantificados; es decir, debe conocerse su disponibilidad total, así como los cambios que registren, ya sea como resultado de las actividades del hombre (producción, consumo, etcétera.) y/o por la acción de fenómenos naturales, tales como terremotos, inundaciones e incendios, entre otros (SCNM, 2008).

2.6.5. El Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio

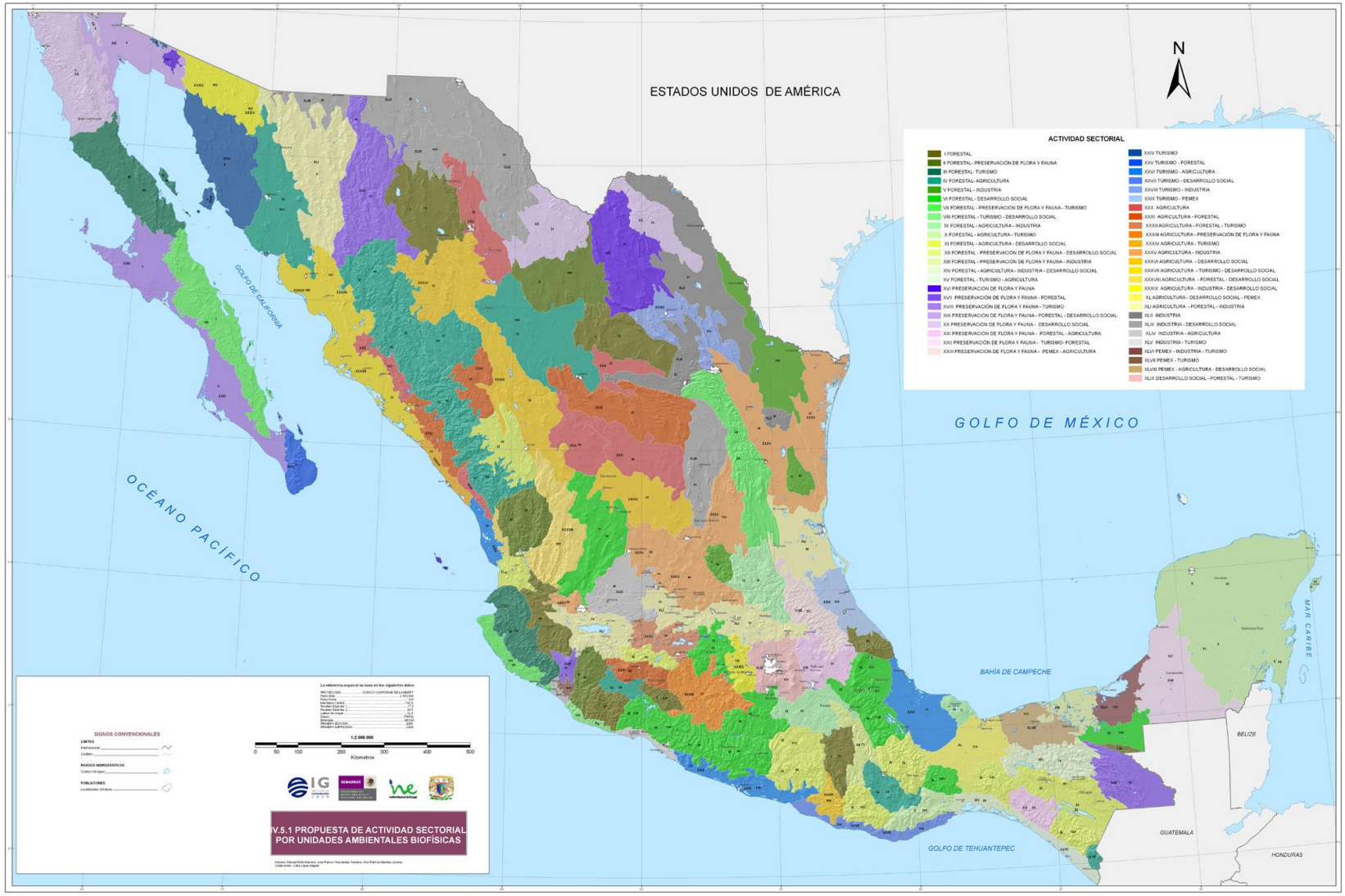


Figura 2.19. Actividad sectorial de México por unidades ambientales biofísicas. **Fuente:** POEGT



Figura 2.20. Unidades Biofísicas del Territorio. **Fuente:** POEGT

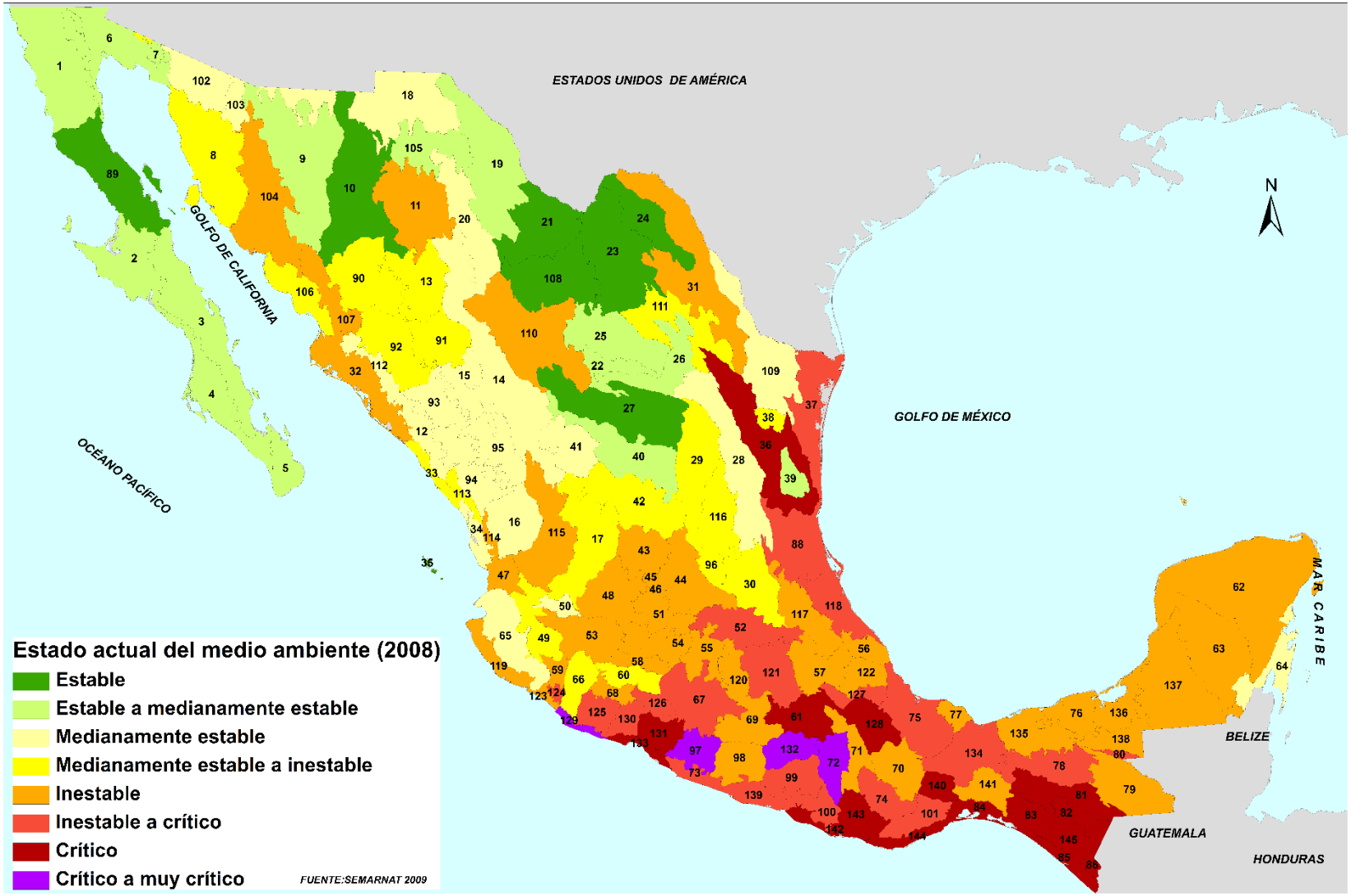


Figura 2.21. Estado actual del medio ambiente. **Fuente:** POEGT

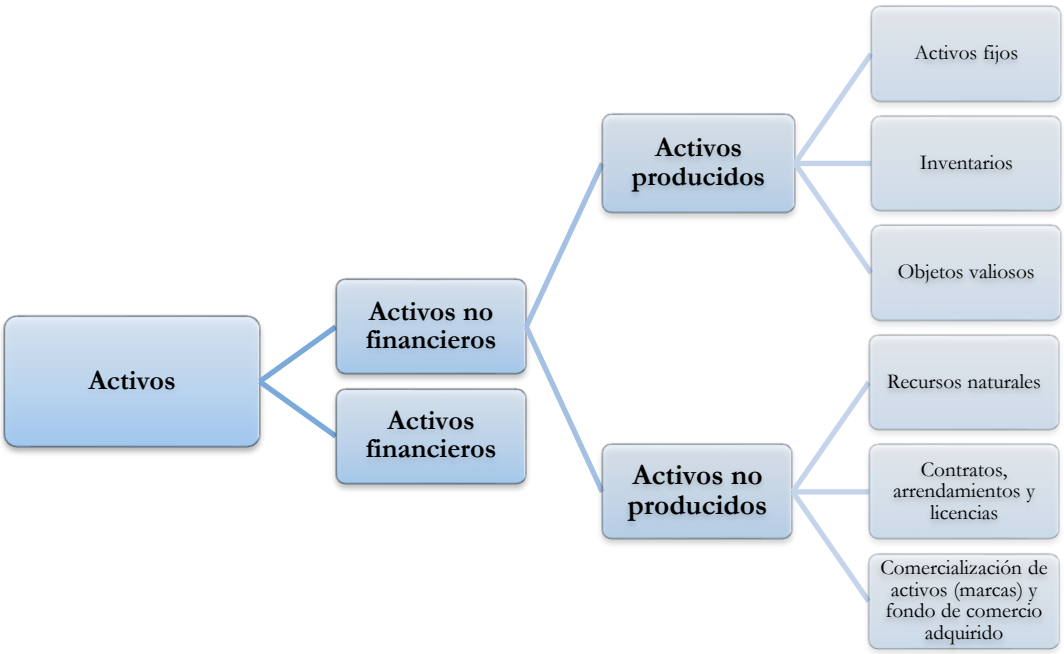


Figura 2.22. Clasificación de activos. **Fuente:** SCNM, 2008

Sin embargo, debe señalarse que existen recursos para los cuales no es posible acotar su disponibilidad total; por ejemplo, el aire y el agua superficial, en los que sólo se conoce el daño o deterioro que sufren, tales como las alteraciones en su calidad (SCNM, 2008).

¿Cómo se valoran los recursos naturales en términos económicos?

Para tal efecto se recurre a cinco posibles metodologías: a) Método de renta neta, b) Método de costo de uso, c) Precio de mercado sustitutos, d) Costo de mantenimiento y e) Precio neto. Para conocer con mayor detalle estas metodologías se recomienda la consulta del documento metodológico del Sistemas de Cuentas Nacionales de México, disponible en el portal de INEGI.

El PINE se obtiene de restarle al PIN los costos por agotamiento de los recursos naturales y por la degradación del medio ambiente, estos últimos como una equivalencia de los costos por la restauración del ambiente.

$$PINE = PIN - (Costos\ Agotamiento + Costos\ restauración) \tag{2.10}$$

También, en el caso de considerar la diferencia con el producto interno bruto:

$$PIBE = PIB - (Costos\ Agotamiento + Costos\ restauración) \tag{2.11}$$

Para el año 2013 el SNIEG publicó mediante el INEGI los resultados mostrados en las tablas 2.7 y 2.8.

Tabla 2.7. Balances y flujos de los recursos naturales en unidades físicas 2003 y 2013. Fuente: SNIEG

Recurso	Unidad de medida	2003	2013[P]	TMCA[1]	Observaciones
Forestal (Existencia de bosques)	millones de metros cúbicos de madera en rollo	3 962.6	3 816.8	-0.37	Balance Apertura +/- Cambios = Balance de Cierre
Hidrocarburos (Reservas totales)	millones de barriles	48 040.6	42 157.2	-1.30	Balance Apertura +/- Cambios = Balance de Cierre
Agua subterránea (Sobreexplotación)	millones de metros cúbicos	5 704.0	5 985.0	0.48	Flujo
Contaminación del aire (Emisiones)	millones de toneladas	19.1	19.0	-0.05	Flujo
Contaminación del suelo por residuos sólidos urbanos	millones de toneladas	38.0	47.4	2.23	Flujo
Contaminación del agua (Descargas de agua residual no tratadas)	millones de metros cúbicos	8 689.5	21 078.0	9.27	Flujo
Degradación del suelo (Superficie afectada)	millones de hectáreas	73.4	75.6	0.30	Flujo

Millones de pesos
[1] Tasa Media de Crecimiento Anual
[P] Cifra preliminar

Tabla 2.8. Principales resultados e indicadores derivados. Serie anual de 2003 a 2013. Fuente: SNIEG

Año	PIB	PIB Ajustado ambientalmente (PIBE)	Costos Totales por Agotamiento y Degradación Ambiental (CTADA)	Gastos en Protección Ambiental (GPA)	PIBE/PIB	CTADA/PIB	GPA/CTADA	GPA/PIB a precios básicos[1]
2003	7 696 035	7 043 365	652 670	44 807	91.5	8.5	6.9	0.6
2004	8 690 254	7 986 018	704 236	50 177	91.9	8.1	7.1	0.6
2005	9 424 602	8 667 668	756 934	57 009	92.0	8.0	7.5	0.6
2006	10 520 793	9 722 967	797 826	64 796	92.4	7.6	8.1	0.6
2007	11 399 472	10 544 785	854 687	80 256	92.5	7.5	9.4	0.7
2008	12 256 864	11 338 259	918 605	97 066	92.5	7.5	10.6	0.8
2009	12 072 542	11 235 677	836 865	121 004	93.1	6.9	14.5	1.1
2010	13 266 858	12 380 590	886 268	126 176	93.3	6.7	14.2	1.0
2011	14 527 337	13 585 333	942 004	145 941	93.5	6.5	15.5	1.0
2012[P]	15 600 077	14 606 854	993 223	145 148	93.6	6.4	14.6	1.0
2013	16 082 510	15 172 542	909 968	148 699	94.3	5.7	16.3	1.0

[1] Se considera el PIB a precios básicos toda vez que los GPA, desde el ámbito de las cuentas nacionales y de los registros del Gobierno General, se reportan en valores a precios básicos sin considerar los impuestos y los subsidios a los productos

[P] Cifras preliminares a partir de este año

2.7 Preguntas y actividades propuestas

2.1. Dinámica de la población humana

- ¿Cuál es la relación del acceso a los servicios de salud y la evolución de los componentes demográficos?
- ¿Cuáles son las razones que promueven un bajo o nulo crecimiento poblacional en las primeras etapas del desarrollo de un centro urbano?
- Define el concepto de bono demográfico y explica su influencia en el desarrollo económico de un centro urbano.
- ¿Cuáles son las causas del crecimiento acelerado del volumen de la población durante la etapa II del modelo de transición demográfica?
- Explica el concepto "nivel de remplazo" y cuál es su influencia en la evolución en el volumen de una población.
- ¿Qué es una tasa bruta?
- Explica el índice de envejecimiento y cuál consideras es su impacto en el desarrollo económico de un país.
- ¿Cuál es la relación entre la tasa de mortalidad infantil y la existencia y pertinencia de la infraestructura de un país?

2.2. Fuentes de información

- Realiza la búsqueda de las estadísticas vitales de INEGI para la Ciudad de México e integra una tabla resumen con la información más relevante.
- Establece un organigrama de los principales integrantes del CONAPO
- Con tus palabras: ¿qué es una conciliación demográfica?
- Acorde con CONAPO, ¿cuál es la esperanza de vida al nacimiento total, en hombres y mujeres?

2.3 Componentes y características de la población

- A qué se refiere el término dimensión. Con base en información publicada por INEGI o CONAPO, establece un ejemplo de una dimensión en términos demográficos.
- Con base en la información de INEGI y de CONAPO.
- Con base en la información publicada por INEGI de alguna entidad federativa establece la estructura de alguna variable de interés en ingeniería civil.
- Con base en la información publicada por CONAPO e INEGI establece la estructura nacional referente al índice de masculinidad de cada entidad federativa.

- Considerando la información más reciente publicada por CEPAL, identifica la pirámide poblacional de 5 países de Latinoamérica y califica su forma con base en lo establecido en el subtema 2.3.
- Explica cuál es la diferencia entre la natalidad y la fecundidad.
- Mediante un diagrama de flujo establece la secuencia para obtener la TGF a partir de las TFE.
- Identifica la edad media de fecundidad nacional y establece un juicio al respecto del nivel y tendencia de este indicador.
- ¿Qué representa la esperanza de vida? y ¿cómo se determina?
- Con base en lo publicado en el documento *¿De qué mueren los mexicanos?*, publicado por INEGI, identifica las 5 principales causas de muerte de los mexicanos.
- ¿Cómo se define a un migrante?
- Con base en la información publicada por CONAPO, identifica las entidades federativas con mayor migración y establece un juicio al respecto de las causas.

2.4. Proyecciones de población y métodos

- Con respecto a la proyección de los aspectos y componentes demográficos, ¿cuál es la situación de las localidades del país con un volumen de población menor a 2500 habitantes?
- ¿A qué criterio obedece que el plazo considerado para la proyección del volumen de la población de las entidades federativas difiere del utilizado para el caso de los municipios y localidades?
- Con base en la información publicada por CONAPO establece todas las tasas de crecimiento de 5 entidades federativas de México. Elige una y, para cada año de un periodo de 5 años, establece los volúmenes desagregados de: a) nacimientos, b) defunciones, c) emigrantes, d) inmigrantes y e) nuevos pobladores. Considera el crecimiento social nacional e internacional.
- Con base en las últimas proyecciones de los volúmenes desagregados de población que CONAPO publique de la entidad federativa elegida para resolver la última parte del inciso anterior, identifique el modelo matemático que mejor se ajuste al comportamiento de los volúmenes de población: a) total, b) mujeres y c) hombres. Con dichas ecuaciones proyecte los volúmenes de población, para cada año de un periodo de 5 años, de dichos grupos poblacionales. Compare y emita un juicio al respecto de la diferencia entre los resultados del inciso c y d.

2.5. Industrialización y urbanización

- Explica la interacción entre urbanismo e industrialización. Ejemplifica esta relación.
- ¿Cuáles son los riesgos del desequilibrio entre la urbanización y la industrialización?

- ¿Qué papel juega el avance tecnológico en las comunicaciones y transportes para el desarrollo de los centros urbanos?
- Explica la relación entre la industrialización y el desarrollo económico de un centro urbano y las distintas etapas del modelo de transición demográfica.
- ¿Cuáles fueron los detonantes para el surgimiento de las primeras concentraciones de habitantes en los años 6000 a.C.?
- Explica cuáles fueron las limitantes para la urbanización de los primeros asentamientos humanos.
- Explica las motivaciones para el incremento en la población urbana con respecto a la rural en el siglo XIX.
- ¿Cuáles son los sucesos que se consideran como el inicio de la segunda revolución industrial?
- Explica el proceso más común de expansión de la mancha urbana en una metrópoli
- Explica el proceso de megalopolización en alguna región del mundo.
- Desarrolla con tus palabras la analogía que el autor hace entre la complejidad biológica de un organismo vivo y las ciudades.
- ¿Cuáles son las principales características de las ciudades inteligentes?
- Describe el enfoque del concepto de resiliencia en el contexto de las ciudades inteligentes.

2.6. Instrumentos de política ambiental para regular el uso del suelo y las actividades productivas en el país.

- Elige dos criterios ecológicos que definen la política ambiental nacional. De éstos desarrolla un breve ensayo destacando el impacto de dichas políticas en la protección al ambiente en el contexto de la urbanización e industrialización.
- Explica cada uno de los criterios para la conformación de los programas establecidos en el ordenamiento ecológico.
- ¿Cuáles son los objetivos que persiguen los instrumentos económicos que surgen de la política ambiental nacional? Describe un ejemplo real de la aplicación de un instrumento económico.
- Iniciando con el documento más general al más específico, enlista los documentos que direccionan la conformación de un plan de desarrollo urbano.
- Explica el fundamento del criterio establecido por el Sistema de Cuentas Nacionales para la concepción de los recursos naturales como bienes escasos.
- Explica cada una de las metodologías para la valoración económica de los recursos naturales.
- Establece la metodología para la obtención del producto interno neto ecológico y producto interno bruto ecológico. ¿Qué representan estas cantidades?

Actividad 2.1
Análisis del video Don't panic: The facts about population.

Realiza lo siguiente:

Uno de los recursos a nivel mundial que pueden servir para conocer información y datos estadísticos de la demografía mundial es el portal GAPMINDER. Este contiene, además de registros de varios indicadores de desarrollo social de todos los países del mundo, material de difusión, tal como documentales y herramientas para la generación de gráficos que ilustran la evolución de la dinámica poblacional.
Dado que te encuentras en el proceso de aprendizaje de la dinámica de la población humana, es favorable complementar tu aprendizaje mediante el análisis de la información que este portal ofrece, en particular el video *Don't panic: The facts about population.* El video lo podrás encontrar en el siguiente enlace:

https://youtu.be/alLxgMKpgDs

Instrucciones
A partir de la reproducción del video y el análisis de la información que ofrece, responde las siguientes preguntas:

1. ¿Qué influencia tiene el bono demográfico para el desarrollo de un país?
2. ¿Cuál ha sido la evolución de los componentes demográficos de los países latinoamericanos y en particular de México?
3. ¿Cuál es la relación entre una adecuada educación sexual y reproductiva y las tasas de fecundidad que presenta un país?
4. ¿Cómo han afectado las políticas de salud pública en los países de mayor densidad poblacional?
5. ¿Por qué el año 2050 resultará trascendental en el ámbito demográfico a nivel global?
6. ¿Qué países serán los más afectados negativamente debido a la transición demográfica en el mediano plazo? y ¿por qué?
7. En el contexto de los componentes demográficos y del desarrollo social que sucederán a finales del presente siglo, ¿qué opinión tienes respecto a las poblaciones de los países de África en comparación con las de Asia, América y Europa?
8. ¿Qué comportamiento a nivel mundial ha tenido la esperanza de vida al nacer? En una proyección a largo plazo ¿qué impacto tendrá en países como el nuestro?
9. ¿Qué impacto tiene la distribución de los recursos económicos a nivel mundial y cuál es su influencia en los componentes demográficos y su evolución?
10. Explica cuáles son los retos más importantes con respecto al crecimiento demográfico mundial en los próximos 30 años.

Actividad 2.2
Elaboración de gráficos en GAPMINDER Tools.

Introducción

Uno de los recursos a nivel mundial que pueden servir para conocer información y datos estadísticos de la demografía mundial es el portal GAPMINDER. Este se nutre de la información que distintos organismos de cada país y mundiales generan a partir de registros civiles y de censos de población y vivienda.
Dado que te encuentras en el proceso de aprendizaje de la dinámica de la población humana, es favorable complementar tu aprendizaje mediante la generación de gráficos que permitan identificar tendencias en la evolución de algunos indicadores demográficos de todos los países del mundo y de su desarrollo social, así como correlaciones entre éstos. La herramienta que te permitirá la generación de gráficos es GAPMINDER Tools, la que podrás encontrar en el siguiente enlace:

https://bit.ly/2FwsFYR

Instrucciones:

Elabora los gráficos indicados en el listado y establece las tendencias y correlaciones entre México y otros 2 países: uno desarrollado y otro en vías de desarrollo:

1. Fecundidad vs Ingreso per cápita (GDP, por sus siglas en inglés).
2. Fecundidad vs infraestructura para saneamiento de aguas.
3. Mortalidad infantil vs infraestructura para saneamiento de aguas.
4. Esperanza de vida vs tiempo.
5. Acceso al agua potable vs tiempo.
6. Esperanza de vida vs acceso al agua potable
7. Mortalidad infantil vs acceso al agua potable
8. Escolaridad en hombres mayores a 25 años vs fecundidad
9. Esperanza de vida vs suministro de alimentos
10. Esperanza de vida vs pobreza extrema

Actividad 2.3
Consulta de registros de estadísticas vitales de INEGI

Introducción

Tras haber concluido la lectura del subcapítulo 2.2, conoces las fuentes de información disponibles en México para poder consultar cualquier tema relacionado con la situación demográfica, tanto a niveles locales, como regionales y/o federales. De acuerdo con la disponibilidad de las fuentes primarias y secundarias, investiga lo siguiente:

Ingresa al portal de INEGI y resuelve lo siguiente:

1. Localiza el apartado de estadísticas vitales y explica brevemente en qué consiste cada una.
2. En las estadísticas de mortalidad, ¿cuántos y cuáles formatos de captación están disponibles para las defunciones generales? ¿Qué tipo de información se obtiene de cada uno?
3. En la opción de tabulados, particularmente en tabulados interactivos en la opción mortalidad general, obtén la tabla de defunciones generales que relacione la entidad y municipio de registro con el año. Elige una entidad federativa y un municipio y, con la información obtenida de esta tabla y exportándola a Excel, genera el gráfico que muestre las muertes generales en los últimos 5 años. Del análisis de dichos gráficos, ¿qué comportamiento observas?
4. En las estadísticas de natalidad, ¿cuántos y cuáles formatos de captación están disponibles?, ¿en qué consiste cada uno?
5. Obtén la tabla de nacimientos registrados, relacionando los últimos 3 años con el sexo, la entidad y municipio, para un estado del norte de la república, uno del centro y uno del sur.
6. En las estadísticas de nupcialidad, ¿qué documentación es posible consultar? Establece cinco de las variables disponibles en la generación de tablas.
7. Genera una tabla de nupcialidad del año 2015 y relaciona dos variables que consideres relevantes. Genera una conclusión en base a su contenido.

Actividad 2.4
Generación y análisis de pirámides poblacionales con recursos digitales

Realiza lo siguiente:

1. Ingresa al portal http://www.educaplus.org/geografia/lab_piramides.html
2. Además de México, elige un país de cada continente y de estos construye e imprime pantalla de lo siguiente:
    a. La pirámide poblacional de hace 10 años
    b. La pirámide poblacional actual
    c. La pirámide poblacional que ocurrirá en 10 años
3. Para cada país interpreta el comportamiento observado en las gráficas, particularmente la forma de su base, borde y cúspide. Califica su forma tomando en cuenta lo establecido en la figura 2.9.
4. Con base en la forma de cada pirámide poblacional y los componentes demográficos mostrados, indica qué fenómenos se están produciendo en su estructura etaria.

Actividad 2.5
Matriz y tasas de migración

De la siguiente matriz de migración determina:

1. La cantidad de habitantes actuales y de hace 5 años.
2. Establece las tasas de migración de cada uno.
3. ¿Qué podrías concluir del fenómeno de migración respecto a las condiciones o características de una población?

	Municipio de residencia hace 5 años						
Municipio de residencia actual	Abejones	Cosoltepec	Axutla	Coatepec	Aquíla	Tenampa	total
Abejones (Oaxaca)	700	100	90	15	140	70	
Cosoltepec (Oaxaca)	75	500	20	67	90	120	
Axutla (Puebla)	88	16	650	35	20	39	
Coatepec (Puebla)	12	40	25	520	70	89	
Aquíla (Veracruz)	15	70	110	63	980	19	
Tenampa (Veracruz)	26	82	120	25	10	5890	
Total							

Actividad 2.6
Proyecciones de población

Con base en las metodologías para la proyección de población propuestas en el capítulo 2, determine lo siguiente:

1. Del portal de CONAPO obtén los registros más recientes (año i) de las distintas tasas de crecimiento de alguna entidad federativa y colócalos en la tabla E1

Tabla E1.

Población del último año de registro (año i)
(TBN) Tasa bruta de natalidad*
(TBM) Tasa bruta de mortalidad*
(TCN) Tasa de crecimiento natural**
(TII) Tasa de inmigración interestatal**
(TEI) Tasa de emigración interestatal**
(TMI) Tasa de migración neta interestatal**
(TMT) Tasa de migración neta internacional**
(TCS) Tasa de crecimiento social total**
(TCT) Tasa de crecimiento total**

2. Con base en la información contenida en la tabla E1 y con la metodología establecida en el apartado 2.4.1, determina los volúmenes de los aspectos demográficos establecidos en la tabla E2.

Tabla E2.

Característica	Año i+1	Año i+2	Año i+3	Año i+4	Año i+5
Nacimientos					
Defunciones					
Crecimiento vegetativo					
Inmigrantes					
Emigrantes					
Crecimiento social nacional					
Crecimiento social internacional					
Crecimiento social					
Población total					

3. Coloca en la tabla E3 los registros que el mismo portal del CONAPO tiene para los años previos al año i.

Tabla E3.

Indicador	Año i-5	Año i-4	Año i-3	Año i-2	Año i-1	Año i
Población a mitad de año						
Hombres						
Mujeres						

4. Con base en la información establecida en la tabla E3 y con ayuda de Excel, obtén el gráfico de la dinámica poblacional que incluya a los tres grupos. De cada curva obtén los modelos matemáticos propuestos en el apartado 2.4 y colócalos en la tabla E4. Adicionalmente, para cada uno, coloca el valor de R cuadrada.

Tabla E4.

Indicador	MODELOS OBTENIDOS CON EL PROGRAMA DE CÁLCULO							
	Lineal	**R cuadrada**	**Logarítmico**	**R cuadrada**	**Exponencial**	**R cuadrada**	**Potencial**	**R cuadrada**
Población a mitad de año								
Hombres								
Mujeres								

5. Elige el tipo de modelos que mejor represente a los datos registrados en la tabla E3 y con éstos proyecta el volumen de los tres grupos. Desde el año i+1 al año i+5. Coloca las proyecciones en la tabla E5.

Tabla E5.

Indicador	Año i+1	Año i+2	Año i+3	Año i+4	Año i+5
Población a mitad de año					
Hombres					
Mujeres					

6. Compara los resultados de la tabla E5, particularmente el de población a mitad del año, con los datos de proyección de población total expresados en la tabla E2. Concluye con base en lo observado.

Capítulo

3

Objetivos de aprendizaje

Objetivo general: El alumno aprenderá acerca de los principios fundamentales que se utilizan para resolver problemas de ingeniería ambiental y su aplicación para cuantificar su solución.

En este capítulo aprenderás acerca de:

1. Las leyes de conservación de masa y la energía como herramientas esenciales para resolver problemas de ingeniería ambiental.

2. Aplicar los principios de conservación de la masa y la energía a problemas ilustrativos que muestren su utilidad para cuantificar su solución.

3. Formular la solución a un problema de ingeniería ambiental con base en la aplicación de principios fundamentales.

Capítulo

3

3. Balances de materia y energía

Una gran cantidad de problemas con los que se enfrenta el ingeniero ambiental demandan la aplicación de varios principios fundamentales procedentes de las ciencias químicas, físicas y biológicas. En particular, los siguientes 2 principios son esenciales para resolver numerosos problemas de ingeniería ambiental, particularmente en los campos relacionados con el tratamiento de aguas, la evaluación del impacto ambiental y la simulación de procesos:

Ley de conservación de la masa
Ley de conservación de la energía

Como un ejemplo de aplicación del principio de conservación de la masa, considérese un sistema conformado por un lago que se encuentra contaminado con una cantidad conocida de sal disuelta, imposibilitando su uso para riego de cultivos sensibles a la salinidad del agua. Una forma natural de resolver el problema es proceder a limpiarlo introduciéndole un caudal de agua relativamente limpia, de manera que, en un tiempo determinado se reduzca la concentración de sal a un valor deseado; en este caso es interesante responder a las siguientes interrogantes: ¿Qué cantidad de agua limpia habría que introducir para expulsar la sal contenida en el sistema y durante cuánto tiempo? Como se verá más adelante no es difícil resolver este problema mediante un planteamiento adecuado del principio de conservación de la masa.

A fin de expresar el principio de conservación de la masa de manera cuantitativa conviene primero definir los conceptos de **concentración, caudal o gasto, también llamado flujo volumétrico y flujo másico o carga.**

Existen varias formas de expresar la concentración de una sustancia presente en el agua; la más usual define a la concentración como la masa de la sustancia de interés dividida por la unidad de volumen del fluido que la contiene, es decir

$$Concentración\ \chi = \frac{m_s}{V} \tag{3.1}$$

en donde

m_s = masa de la sustancia contenida en el agua
V = volumen de fluido conteniendo a m_s

Es común expresar la masa m_s en mg y el volumen del líquido V en litros, de manera que entonces la concentración χ tiene unidades de mg/l. Ahora obsérvese qué, como la densidad del agua dulce tiene un valor aproximado de 1 kg/l, de la definición de densidad

$$Densidad\ del\ agua\ \rho = \frac{m}{V} = 1\ kg/l$$

en donde m representa la masa de agua dulce, resulta que a 1 litro de agua dulce le corresponde una masa de 1 kg, de modo que

$$1\ mg/l = 1mg/1kg = 1mg/10^6mg = 1\ ppm$$

El término ppm es la abreviación de parte por millón, que quiere decir una parte de la masa de la sustancia incluida en un millón de partes de la masa de agua.

Es importante darse cuenta que una concentración expresada en ppm es adimensional, porque representa el cociente de dos masas, la masa de la sustancia en cuestión entre la masa de agua que la contiene; en otras palabras, se trata de una concentración másica, mientras que la concentración expresada en mg/l es una concentración maso-volumétrica y ambas son equivalentes. Debido a esta correspondencia entre las dos unidades de concentración suele referirse indistintamente a la concentración en unidades de mg/l o ppm, sin embargo, no debe perderse de vista que la unidad de concentración expresada en ppm representa una concentración másica y que la equivalencia entre ppm y mg/l solamente es válida para agua dulce.

Los términos gasto o flujo volumétrico mencionados arriba, se utilizan indistintamente y representan una medida de volumen del líquido transportado por unidad de tiempo debido a una corriente, ya sea en el medio o una tubería. Es decir

$$Gasto\ Q = \frac{V}{t} \tag{3.2}$$

en donde t = tiempo.

Si por ejemplo se considera en un tramo de tubería de longitud L y de área transversal A, como se ilustra en la figura 3.1, entonces, debido a que el volumen $V = AL$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{AL}{t} = Av \tag{3.3}$$

en donde $\frac{L}{t}$ representa la velocidad v de la corriente dentro de la tubería.

Obviamente este concepto se aplica también al medio, por ejemplo, un río tiene un flujo volumétrico $Q=Av$, en donde A es el área transversal del río y v su velocidad. Es común expresar flujos volumétricos o gastos en l/s o m^3/s.

El concepto de flujo másico mencionado anteriormente se refiere a la masa de una sustancia por unidad de tiempo transportada por una corriente, o sea

$$Flujo\ másico\ F = \frac{m_s}{t} \tag{3.4}$$

Nótese qué, como la concentración $\chi = \frac{m_s}{V}$, entonces

$$F = \frac{m_s}{t} = \frac{\chi V}{t} = \chi Q \tag{3.5}$$

Es usual expresar flujos másicos en unidades de kg/s o kg/h.

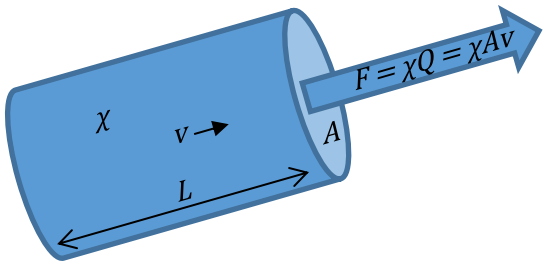
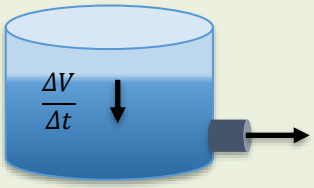


Figura 3.1. Sección tubular transportando una sustancia de concentración χ mediante un caudal Q. El flujo másico F representa la masa de la sustancia transportada por unidad de tiempo.

Problema resuelto 3.1 Vertido de salmuera desde un tanque de almacenamiento

Un tanque de almacenamiento que contiene salmuera (sal disuelta en agua) a una concentración de 10 ppm comienza a vaciarse por un orificio de 10 cm de diámetro, disminuyendo su volumen a un ritmo de 0.01 m^3/s. Obtener el gasto de agua, la velocidad con la que sale el agua y el flujo másico de sal que sale por el orificio.

Solución



El ritmo de disminución del volumen de agua dentro el tanque es igual al volumen de agua por unidad de tiempo que escapa por el orificio, por lo que el gasto $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = 0.01\ \mathrm{m^3/s}$.
De la ecuación 3.3, se puede despejar la velocidad con la que escapa el agua por el orificio. Es decir

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.01}{\pi(\frac{0.1}{2})^2} = 1.27\ m/s$$

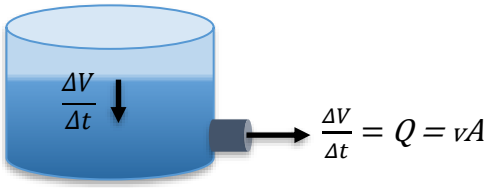
Y de la ecuación 3.5 el flujo másico de sal es

$$F = \chi Q = 10 \times 0.01 \times 1000 = 100\ \mathrm{mg/s} = 0.1\ \mathrm{g/s}$$ de sal.

En el cálculo anterior téngase en cuenta que 1 ppm = 1 mg/l y que 1000 l = 1 m^3

3.1 Conservación de la materia y la energía

Conviene expresar primero el principio de conservación de la masa y la energía en palabras y posteriormente proceder a su forma cuantitativa. Ambos principios representan un balance entre las fuentes existentes y los flujos de masa y energía entrando y saliendo al sistema. Cuando este balance es diferente de cero se origina a una acumulación de las propiedades del sistema, en otras palabras:



Acumulación = Ingreso de flujos – Egreso de flujos ± Fuentes (3.6)

La acumulación representa cualquier propiedad del sistema, ya sea masas de diversas sustancias presentes en él o la temperatura, incrementándose o disminuyendo en el tiempo, como consecuencia de los términos que aparecen de lado derecho de la expresión anterior; una acumulación con signo positivo quiere decir que la masa o la energía del sistema aumenta porque el balance de los términos a la derecha, es decir las fuentes y los flujos másicos o de energía, resulta positivo, y una acumulación con signo negativo, implica su disminución, como consecuencia de un balance con signo negativo que comprende a las fuentes y los flujos másicos o de energía. Esto significa que cualquier variación de la masa o la energía del sistema tienen una explicación, ya sea en las fuentes y/o los flujos de masa o energía existentes. Por ejemplo, con referencia al ejemplo del lago mencionado en la introducción, al ir extrayendo agua salada al lago alimentándolo con agua limpia, se presenta una situación en donde el término de acumulación de sal disuelta es negativo, indicando una disminución de su masa en el tiempo como consecuencia de un flujo másico de sal a la salida del lago; obsérvese que a la entrada del lago el flujo másico de sal es nulo y que no existen fuentes de sal en el sistema, por lo que la expresión 3.6 queda así

Acumulación de masa = – flujo másico egresando

Según se explicó con anterioridad los flujos representan material o energía por unidad de tiempo ingresando o egresando al sistema a través de sus fronteras mediante gastos de agua. Esto se ilustra en la figura 3.2 en donde se muestran dos descargas de aguas contaminadas ingresando a un cuerpo de agua y un efluente llevándose una parte de la contaminación provocada por dichas descargas.

Las fuentes que intervienen en la expresión 3.6 pueden ser de dos tipos: transformaciones químicas y fuentes directas. Las primeras tienen su origen en reacciones químicas o bioquímicas que remueven o incorporan material o energía al reaccionar. Por ejemplo, la oxidación de compuestos orgánicos por microorganismos representa una reacción que elimina dichos compuestos del agua, y, por tanto, es una fuente con signo negativo. Las fuentes directas constituyen material o energía que se produce o se elimina sin provenir de reacciones químicas dentro del sistema. Por ejemplo, el proceso de sedimentación de material dentro de un lago representa una fuente con signo negativo, porque elimina partículas del agua almacenándolas como lodos en el fondo del lago. Otro ejemplo de una fuente directa, en este caso con signo positivo, es la energía radiante proveniente del sol que traspasa un cuerpo de agua; al penetrar en el agua esta energía se acumula incrementándose su temperatura.

Es importante notar en la expresión 3.6 que, si el término de acumulación es nulo y las fuentes son inexistentes, necesariamente los ingresos deben ser igual a los egresos; esto significa, en el caso de material conservativo ingresando constantemente a un lago, como por ejemplo un influente de agua salobre, que la misma cantidad de material por unidad de tiempo tendrá que estar egresando. Esta es una situación muy particular del principio de conservación de la masa en donde no hay acumulación de masa, reacciones químicas ni fuentes directas, lo que implica que lo que entra es igual a lo que sale del sistema.

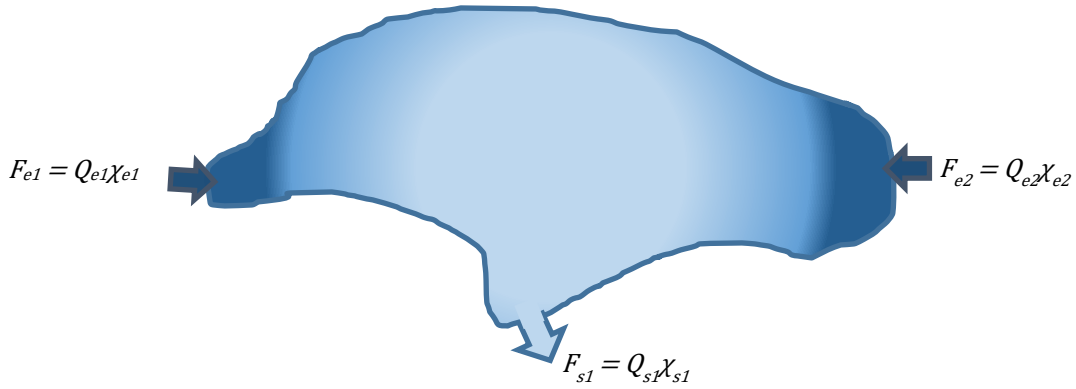


Figura 3.2. Un lago influenciado por la entrada de dos flujos másicos de aguas contaminadas y la salida de un flujo de material. La mayor intensidad del color indica mayor concentración.

3.2 Balances de materia

Se procederá ahora a plantear de manera cuantitativa la expresión 3.6. Para ello se considera un sistema bien mezclado como el que se presenta en la figura 3.3. Una característica de un sistema bien mezclado es que la concentración χ es homogénea, de forma que los materiales que ingresan al sistema se mezclan instantáneamente. Obviamente la anterior consideración constituye una idealización que se aproximará más a la realidad en la medida en la que el sistema sea más pequeño y se encuentre agitado. En un sistema como un lago pequeño, el mezclado de las aguas es ocasionado por la turbulencia originada por el ingreso y el egreso de las aguas, el efecto del viento y la ausencia de estratificación térmica que implica un lago poco profundo. Otro ejemplo de un sistema bien mezclado es un sistema de tratamiento de aguas residuales en donde debe proporcionarse oxígeno, mediante aireación mecánica, que requieren los microorganismos que se encargan de degradar la materia orgánica presente; la aireación mecánica provoca el mezclado del sistema. En el laboratorio un matraz conteniendo una sustancia disuelta en agua constituye también un sistema bien mezclado.

Primero se expresará la acumulación de masa cuantitativamente. Si m_s representa la masa de la sustancia dentro del sistema, según lo indicado arriba, la acumulación significa su variación en el tiempo, o dicho en lenguaje matemático

$$Acumulación = \frac{dm_s}{dt} = \frac{d\chi V}{dt} \tag{3.7}$$

Regresando a la figura 3.3 y considerando n_e flujos másicos ingresando al sistema y n_s egresando, la suma de los flujos másicos ingresando es

$$Ingreso\ de\ flujos\ másicos = \sum_{i=1}^{n_e} F_{ei} = \sum_{i=1}^{n_e} Q_{ei}\chi_{ei} \tag{3.8}$$

y la suma de los flujos másicos egresando

$$Egreso\ de\ flujos\ másicos\ = \sum_{i=1}^{n_s} F_{si} = \sum_{i=1}^{n_s} Q_{si}\chi \tag{3.9}$$

Es importante observar en el término de egreso de flujos másicos, ecuación 3.9, que solamente se presenta una concentración, la concentración dentro del sistema, multiplicando a los gastos de salida, motivado por la consideración de que el sistema se encuentra bien mezclado.

Conviene postergar la representación cuantitativa de las fuentes para el apartado referente a sistemas con transformaciones que se expone más adelante. Por ahora se incorporarán empleando la letra minúscula *f*, indicando producción o eliminación de masa por unidad de tiempo y volumen. Estas fuentes se originan como consecuencia de reacciones químicas; las fuentes directas se introducirán de manera explícita cuando sea necesario y se mostrarán mediante el término F_d. Entonces, en el sistema bien mezclado las fuentes se expresan así

$$Fuentes = fV + F_d \tag{3.10}$$

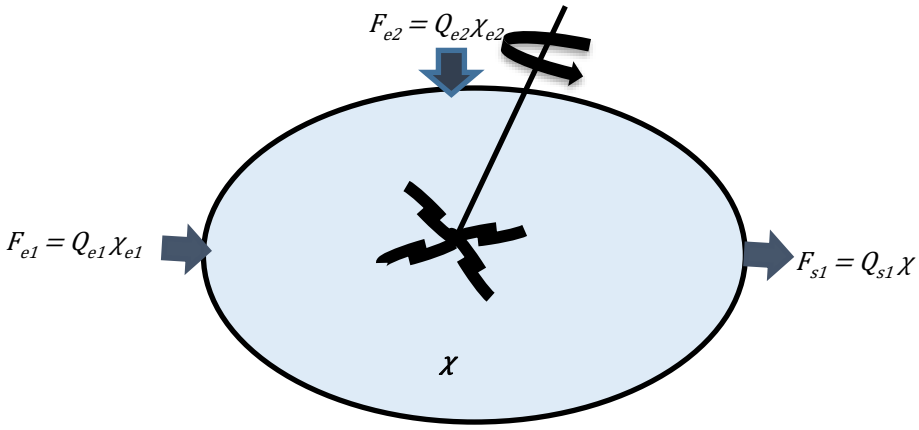


Figura 3.3. Un sistema constituido por un lago bien mezclado. El mezclado provoca una concentración homogénea en todo el sistema que incluye el sitio de salida del material.

Sustituyendo los términos 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10 en la expresión 3.6 se tiene la siguiente forma del principio de conservación de la masa

$$\frac{d\chi V}{dt} = \sum_{i=1}^{n_e} Q_{ei}\chi_{ei} - \sum_{i=1}^{n_s} Q_{si}\chi \pm fV + F_d \tag{3.11}$$

Acumulación = Entradas - Salidas ± Fuentes

Según se explicó anteriormente la aplicación del principio de conservación de la masa a un sistema bien mezclado conduce a la ecuación 3.11; la expresión a la derecha de dicha ecuación representa un balance de masa entre las fuentes existentes y los flujos másicos entrando y saliendo al sistema. Cuando este balance es diferente de cero se origina a una acumulación de la masa del sistema, ya sea positiva o negativa, representado por el término a la izquierda de dicha ecuación. A continuación, se estudiará el sistema bien mezclado considerando una sustancia inerte o conservativa. Posteriormente se aplicará a un sistema con una sustancia reactiva o no conservativa.

3.2.1 Sistemas sin transformaciones

Conviene estudiar primero el sistema sin transformaciones omitiendo el término de acumulación porque permite enfocar el problema en forma simplificada. Se explicó arriba que en estas circunstancias las entradas son igual a las salidas; lo anterior se puede observar en la ecuación 3.11, la cual se reduce a la siguiente expresión

$$\sum_{i=1}^{n_e} Q_{ei}\,\chi_{ei} - \sum_{i=1}^{n_s} Q_{s\,i}\chi = 0 \qquad (3.12)$$

En el ejemplo 3.2 se presenta una aplicación común a la ecuación 3.12. Se trata de la descarga de aguas contaminadas a un canal o un río. En el punto de descarga las aguas del canal y la descarga se mezclan de manera instantánea. El proceso se realiza sin que se acumule masa y tan rápidamente que, aun cuando la sustancia sea reactiva, se le puede considerar conservativa.

Ahora se estudiará el sistema bien mezclado incluyendo el término de acumulación de masa. En la figura 3.4 se observa un sistema bien mezclado con una entrada y una salida de material inerte. Al inicio del proceso el sistema presenta una concentración χ_0. Obviamente esta concentración inicial va a ser afectada y evolucionará como consecuencia de flujos másicos de ingreso y egreso que se realicen en el sistema; el problema que se plantea es predecir el cambio de la concentración en el tiempo. Como el volumen del sistema es constante, lo cual implica que el gasto de agua que entra al sistema es igual al que sale, y la sustancia es conservativa, es decir $f = 0$, entonces la ecuación 3.11 se reduce a la siguiente expresión

$$V\frac{d\chi}{dt} = Q\chi_e - Q\chi \qquad (3.13)$$

Problema resuelto 3.2 Descarga de aguas salobres en un canal con agua de agua limpia

Un canal con agua limpia recibe una descarga de aguas provenientes de un cauce de riego conteniendo 150,000 ppm de sal. Si el gasto del canal aguas arriba del sitio de descarga es de 1.0 m^3/s y el del afluente 0.1 m^3/s, obtener la concentración de sal aguas abajo del sitio en donde las aguas se mezclan.

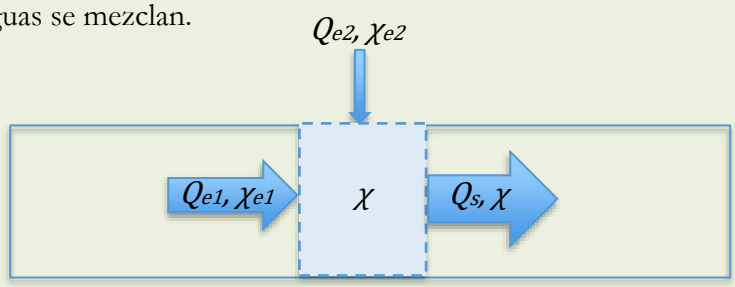


Figura P3.2 Descarga de aguas salobres en un canal transportando agua limpia.

Solución

Primero es esencial definir el sistema motivo de estudio. Conviene delimitarlo por el área rectangular que se muestra en la figura P3.2. Es importante advertir que se trata de un sistema bien mezclado con dos entradas y una salida de una sustancia conservativa que no tiene fuentes ($f = 0$) y en donde no existe acumulación de masa ($\frac{d\chi V}{dt} = 0$). Por tanto, de la ecuación 3.12, se deduce que

$$\chi_{e1} Q_{e1} + \chi_{e2} Q_{e2} = \chi Q_s$$

de donde

$$\chi = \frac{\chi_{e1} Q_{e1} + \chi_{e2} Q_{e2}}{Q_s}$$

De manera análoga, efectuando el balance de la masa de agua en función de los caudales

$$Q_s = Q_{e1} + Q_{e2}$$

Por lo que la concentración a la salida es

$$\chi = \frac{\chi_{e1} Q_{e1} + \chi_{e2} Q_{e2}}{Q_{e1} + Q_{e2}}$$

Sustituyendo los datos del problema en esta expresión, resulta

$$\chi = \frac{0 \times 1.0 + 150000.0 \times 0.1}{1.0 + 0.1} = 13600\ ppm$$

No es difícil resolver esta ecuación diferencial separando la variable dependiente e independiente y después se procede a integrarla, como sigue

$$\int \frac{d\chi}{\chi_e - \chi} = \int \frac{dt}{\theta} + K$$

en donde K es una constante de integración que depende de la condición inicial y $\theta = \frac{V}{Q}$, se denomina tiempo de retención. Obsérvese que éste tiene unidades de tiempo y representa el tiempo promedio que el agua permanece dentro del sistema. Efectuando las integrales se obtiene

$$ln(\chi_e - \chi) = -\frac{t}{\theta} + K \tag{3.14}$$

y como $\chi = \chi_o$ en $t = 0$ entonces la constante de integración es

$$K = ln(\chi_e - \chi_o)$$

Sustituyendo la constante de integración en 3.14 y despejando la concentración χ, resulta

$$\chi = \chi_o e^{-\frac{t}{\theta}} + \chi_e(1 - e^{-\frac{t}{\theta}}) \tag{3.15}$$

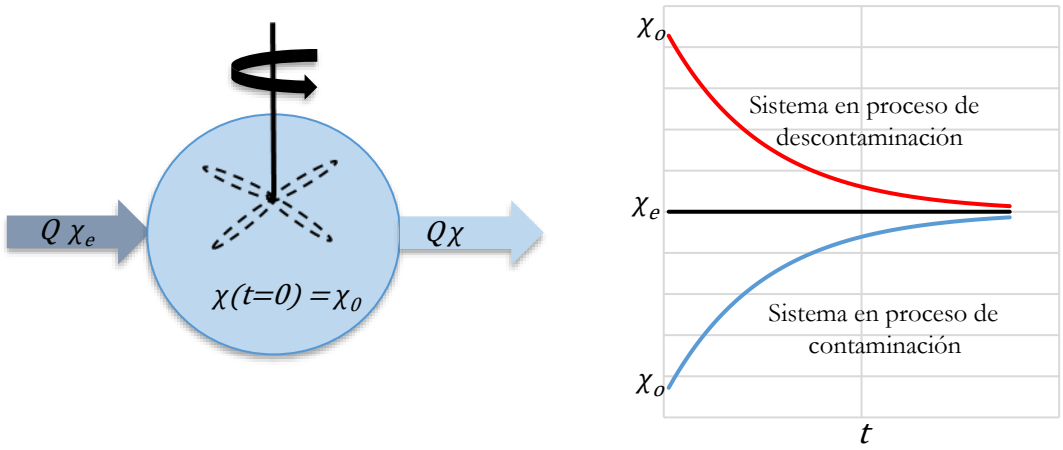


Figura 3.4. Evolución de una **sustancia conservativa** dentro de un sistema bien mezclado con una entrada y una salida de material inerte. Al final del proceso, independientemente del valor de la concentración inicial, el sistema se estabiliza adquiriendo el valor de la concentración de entrada

La figura 3.4 contiene la gráfica de esta ecuación para dos casos ilustrativos. Primero se tiene una concentración inicial mayor que la concentración de entrada; a medida que el sistema evoluciona la concentración se reduce exponencialmente por el ingreso de agua relativamente limpia ($\chi_e < \chi_o$) que tiende a descontaminar al sistema (línea roja). En el segundo caso, representado con la línea azul, en contraste con el caso anterior, el sistema se encuentra inicialmente relativamente limpio ($\chi_e > \chi_o$) y comienza a ingresar una concentración mayor que provoca la contaminación del sistema hasta alcanzar la concentración de entrada. En ambos casos el sistema se estabiliza después de un tiempo prolongado, y por la tanto deja de acumular masa, una vez que alcanza la concentración de entrada. Es interesante notar que, si en la ecuación 3.13 se anula la derivada, lo cual quiere decir que se llega un **estado estacionario** en donde no hay acumulación de masa, inmediatamente se obtiene que la concentración de salida es igual a la concentración de entrada. El estado estacionario representa una situación en donde no existe variación temporal de las variables y, en consecuencia, en la ecuación de conservación de la masa, el término de acumulación se anula.

Problema resuelto 3.3 Acondicionamiento de agua para su posterior tratamiento

Un depósito de agua de 750000 m^3, cuyo exceso de salinidad impide su tratamiento, será acondicionado introduciéndole agua libre de sales, de manera que su concentración se reduzca de 12000 ppm a 600 ppm. Determinar:

a) El gasto de agua sin salinidad que habría que utilizar durante 8 días para lograr dicha reducción.
b) ¿Cuánto tiempo habría que aplicar dicho gasto para limpiar el depósito totalmente?

Solución

Debido a que el embalse puede considerarse bien mezclado tomado en cuenta que su tamaño es pequeño, la ecuación 3.14 describe el proceso de evolución de la sustancia contenida en el embalse. Por otra parte, como ingresa agua limpia ($\chi_e = 0$) la ecuación 3.14 se simplifica a la siguiente forma:

$$\chi = \chi_o e^{-\frac{t}{\theta}} \qquad \text{(E3.3.1)}$$

La ecuación E3.3.1 describe el decrecimiento de la concentración dentro del embalse motivado por el lavado que ocasiona el ingreso de agua limpia.

a) Despejando el tiempo de retención de esta ecuación

$$\theta = \frac{t}{ln\frac{\chi_0}{\chi}} = \frac{8}{ln\frac{12000}{600}} = 23.96 \text{ días}$$

Y como $\theta = \frac{V}{Q}$, entonces $Q = 750000/23.96 = 31302.17$ m^3/día $= 0.3623$ m^3/s

b) Obsérvese en la figura 3.4 que la concentración disminuye asintóticamente hasta alcanzar la concentración de entrada $\chi_e = 0$ en un tiempo infinito. Por consiguiente, se tendrá que decidir que tanto la concentración del embalse se considera cercana a cero. Si arbitrariamente se supone que un valor de concentración $\chi = 120$ ppm es prácticamente agua limpia (el 1% de la concentración de entrada), entonces, si se despeja el tiempo de la ecuación E3.3.1, habría que aplicar dicho gasto por

$$t = \theta ln\frac{\chi_0}{\chi} = 23.96 ln\frac{12000}{120} = 55 \text{ días}$$

3.2.2 Sistemas con transformaciones

La aplicación más simple que se le puede dar a la ecuación 3.11 es en un sistema cerrado. Un sistema de esta naturaleza no tiene flujos másicos de entrada y salida, por lo que su evolución depende exclusivamente del término de fuentes, particularmente de las trasformaciones que ocurren dentro de él como consecuencia de reacciones químicas. El ejemplo más importante de la situación descrita es un matraz de laboratorio conteniendo una sustancia que reacciona, de manera que la ecuación 3.11 se reduce a la siguiente expresión

$$\frac{d\chi}{dt} = \pm f \tag{3.16}$$

Obsérvese que se ha eliminado el volumen en ambos lados de la ecuación debido a que éste es una constante. La utilidad fundamental de la ecuación 3.16 es para el estudio del término de transformaciones f, que como ya se explicó obedece a reacciones químicas que producen o eliminan la sustancia de concentración χ dentro del frasco.

De los principios fundamentales de la química, la denominada **Ley de Acción de Masas**, permite cuantificar el término f de la ecuación 3.16; la Ley de Acción de Masas se enuncia como sigue:

> ***La rapidez con que se efectúan un conjunto de reacciones químicas es directamente proporcional a la concentración de los reactivos participantes elevada a su respectiva potencia.***

Cuando se tiene un solo reactivo la anterior expresión implica que

$$f = k\chi^n \tag{3.17}$$

en donde n representa el **orden de la reacción**, que suele tomar valores enteros (0,1,2…), si bien también puede adquirir valores fraccionarios, y k se conoce con el nombre de **constante cinética**. Esta constante es en realidad un parámetro que depende de diversos factores como la concentración del solvente y la temperatura, aunque en problemas de ingeniería ambiental la temperatura juega un papel fundamental. El solvente puede ser agua dulce o agua salada.

Por ejemplo, considérese un matraz conteniendo agua en donde se siembra una concentración c_o de una sustancia que se elimina siguiendo una reacción de orden 1. Esto significa, combinando las ecuaciones 3.16 y 3.17, que

$$\frac{d\chi}{dt} = -k\chi \tag{3.18}$$

en donde k tiene unidades de recíproco de tiempo, por ejemplo, día^{-1}.

Aplicando el mismo procedimiento utilizado para resolver la ecuación 3.13 a la ecuación 3.18 se logra el siguiente resultado

$$\chi = \chi_o e^{-kt} \tag{3.19}$$

La figura 3.5 muestra el decaimiento exponencial expresado por la ecuación 3.19. Obsérvese que, en la medida que la constante cinética k es mayor, se incrementa la rapidez de transformación de la sustancia considerada.

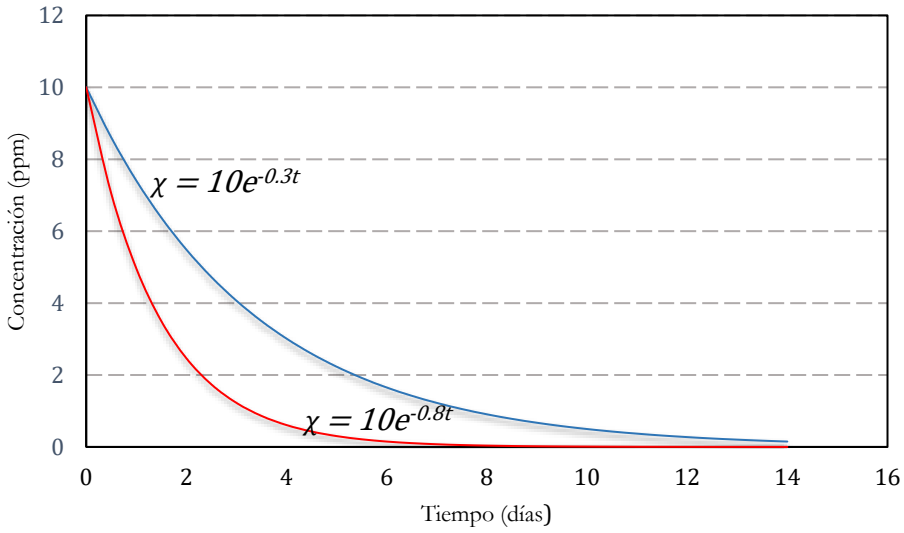


Figura 3.5. Reacción de orden 1 evolucionado dentro de un sistema cerrado. La rapidez con que se llevan a cabo las reacciones depende de las constantes cinéticas k_1 = 0.8 día^{-1} y k_2 = 0.3 día^{-1}. En este ejemplo $k_1 > k_2$, y, por tanto, el decaimiento exponencial es mayor con la primera que con la segunda constante cinética.

En el problema resuelto 3.4 se procede a encontrar el valor de la constante cinética k a partir de una serie de datos obtenidos en el laboratorio.

El tema que se expuso anteriormente respecto de una sustancia contenida dentro de un frasco que se degrada siguiendo una reacción de orden 1, puede ahora llevarse a un sistema ambiental típico, es decir, un sistema bien mezclado abierto. Por ejemplo, considérese un embalse pequeño al cual le ingresa una concentración de materia orgánica χ_e mediante un gasto Q, como se ilustra en la figura 3.6. Al inicio el embalse tiene una concentración χ_o de materia orgánica. El problema que se plantea ahora es determinar la evolución de la concentración de la materia orgánica a la salida del embalse; se tendrá que partir de la ecuación 3.11 para resolver este problema. En otras palabras, de la ecuación 3.11

$$V\frac{d\chi}{dt} = Q\chi_e - Q\chi - k_d\chi V \tag{3.20}$$

Obsérvese que la ecuación 3.20 es similar a la ecuación 3.13, excepto que ahora se le ha añadido el termino de transformaciones estudiado en el sistema cerrado. La ecuación 3.20 puede resolverse de igual manera como se solucionó la ecuación 3.13 obteniéndose el siguiente resultado

$$\chi = \chi_o e^{-(\frac{1}{\theta}+k_d)t} + \frac{\chi_e}{1+k_d\theta}(1 - e^{-(\frac{1}{\theta}+k_d)t}) \qquad (3.21)$$

Problema resuelto 3.4 Determinación de la constante de degradación k_d utilizando datos obtenidos en el laboratorio

Los datos que se presentan en la tabla T3.4.1 se obtuvieron dentro de un matraz conteniendo una muestra de aguas residuales domésticas. La muestra tiene una concentración de materia orgánica que se degrada siguiendo una reacción de orden 1. Determine la constante de degradación del desecho.

Tiempo (días)	Concentración (ppm)
0	18
2	12
4	10
6	6
8	6

T3.4.1 Concentraciones de materia orgánica a diferentes tiempos

Solución

El fenómeno sigue una reacción de orden 1 con degradación, es decir, lo rige la curva exponencial de la ecuación 3.19. Esta ecuación puede liniarizarse si a ambos lados de la ecuación se aplica la función logaritmo, lo cual permite posteriormente aplicar el método de los mínimos cuadrados para obtener la pendiente y la ordenada al origen. En otras palabras, primero se lineariza la ecuación 3.19, así

$$ln\chi = ln\chi_o - k_d t$$

Esta es la ecuación de una recta de la forma

$$y = b + mx$$

con:

$y = ln\chi$, $x = t$, $m = -k_d$, $y\ b = ln\chi_o$ (E3.4.1)

Problema resuelto 3.4 (continuación) Determinación de la constante de degradación k_d utilizando datos obtenidos en el laboratorio

Según se explicó arriba, para aplicar el método de los mínimos cuadrados primero será necesario obtener el logaritmo de las concentraciones, como se muestra en la siguiente tabla

t (días)	*χ (ppm)*	*Lnχ*
0	18	2.89
2	12	2.48
4	10	2.30
6	6	1.79
8	6	1.79

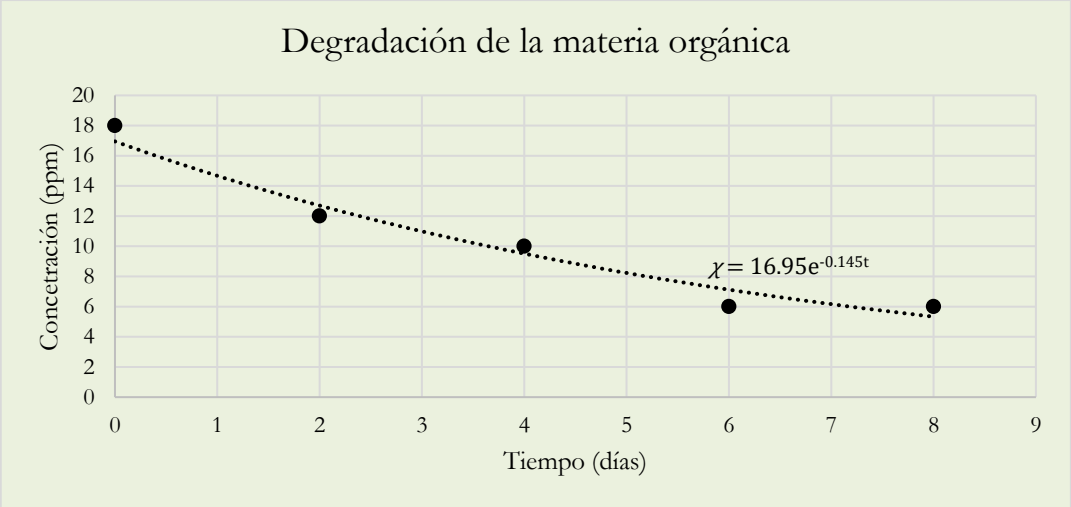
T3.4.2 Transformación logarítmica de las concentraciones a diferentes tiempos

Al implementar el método de los mínimos cuadrados (se puede facilitar el proceso de cálculo si se usa una calculadora de mano que tenga el método incorporado) con los datos de las columnas 1 y 3 de la tabla T3.4.2 se obtiene la pendiente y la ordenada al origen, como sigue

$m = -0.145$
$b = 2.83$

de manera que utilizando las expresiones E3.4.1 resulta

$\chi_o = e^b = e^{2.83} = 16.95$ ppm y la constante de degradación es
$k_d = -m = 0.145$ día^{-1}



Lo más sobresaliente de la ecuación 3.21 es que, si el tiempo se hace tender a infinito (véase la gráfica de la figura 3.6), tal y como se llevó a cabo con la ecuación 3.15 y se presentó en la figura 3.4, la concentración tiende al siguiente valor

$$\chi(t \to \infty) = \chi_{eq} = \frac{\chi_e}{1 + k_d\theta} \tag{3.22}$$

en donde χ_{eq} se denomina la concentración de equilibrio.

Es importante darse cuenta en la ecuación 3.22 que la concentración de equilibrio es invariablemente menor que la concentración de entrada, de modo que la operación del embalse sorprendentemente ha logrado reducir la concentración que ingresa a él. En otras palabras, éste actúa como un sistema de tratamiento. También nótese que, si la sustancia hubiese sido conservativa, como la que ese estudió en la situación aludida arriba, entonces dado que $k_d = 0$ para una sustancia no reactiva, la concentración de equilibrio adquiere el valor de la concentración de entrada, de manera que en este caso el embalse no funciona como como sistema de tratamiento; en otras palabras, se requiere que la sustancia tienda a degradarse para que la retención del agua dentro del embalse logre reducir su concentración.

.

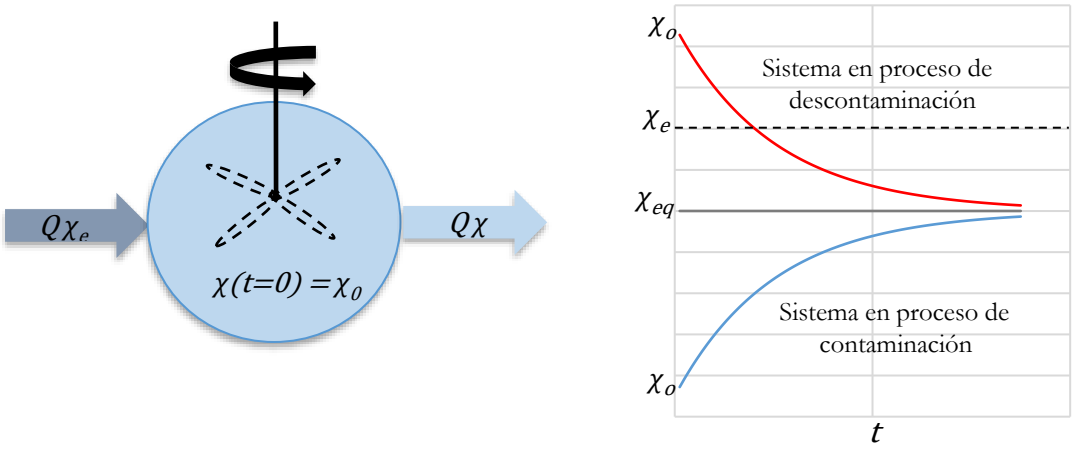


Figura 3.6. Evolución de una **sustancia reactiva**, siguiendo una reacción de orden 1 con degradación, dentro de un sistema bien mezclado con una entrada y una salida de material. Al final del proceso, independientemente del valor de la concentración inicial, el sistema se estabiliza adquiriendo el valor de la concentración de equilibrio; esta concentración invariablemente será menor que la concentración de entrada.

Problema resuelto 3.5 Embalse operando como sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas contienen cantidades abundantes de materia orgánica biodegradable, de manera que se pueden utilizar los principios cinéticos planteados en el presente capítulo. Considere un embalse que tiene un volumen V = 50,000 m^3 y le ingresa materia orgánica a una concentración de 100 ppm mediante un gasto de 0.3 m^3/s. Se pretende utilizar el embalse como sistema de tratamiento de dichas aguas. Si la constante de degradación de la materia orgánica k_d = 0.28 día^{-1}, determine la eficiencia de tratamiento que tiene el embalse.

Solución

Primero es necesario definir el concepto de eficiencia de tratamiento. Este concepto solo se aplica una vez que el sistema ha alcanzado el estado estacionario, cuando las concentraciones dejan de evolucionar, es decir, ya que se consigue el estado de equilibrio. La eficiencia de tratamiento se define así

$$\text{Eficiencia de tratamiento } \eta_t = \frac{material\ eliminado}{material\ ingresado} = \frac{\chi_e - \chi_{eq}}{\chi_e} = 1 - \frac{\chi_{eq}}{\chi_e}$$

Entonces, de la ecuación 3.22 se tiene que

$$\eta_t = 1 - \frac{\chi_{eq}}{\chi_e} = 1 - \frac{1}{1 + k_d\theta}$$

Antes de aplicar esta ecuación es necesario determinar el tiempo de retención $\theta = V/Q$. Sustituyendo los valores proporcionados se obtiene

$\theta = V/Q$ =50000 / 0.3 = 166667 seg = 1.93 días, y, por tanto

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{1 + k_d\theta} = 1 - \frac{1}{1 + 0.28 \times 1.93} = 0.35$$

A continuación, se propone la realización de dos actividades que mejorarán la comprensión de los temas expuestos, mismas que se enuncian a continuación y que se detallan al final del capítulo.



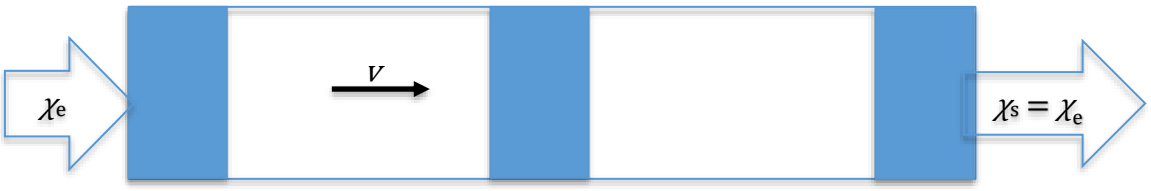
Actividad 3.1.
Estudio del video "Balances de materia 1"
Con base en lo aprendido en este capítulo y el contenido del video propuesto, responde el cuestionario planteado



Actividad 3.2.
Estudio del video "Balance de materia en un proceso de mezcla"
Después de ver el video mencionado contesta las preguntas planteadas

3.2.3 Reactores

Los reactores son dispositivos, constituidos por tanques, matraces, secciones tubulares o rectangulares, etc. en donde se llevan a cabo las reacciones químicas. En los capítulos anteriores se estudiaron varios reactores constituidos por sistemas bien mezclados. El ejemplo más sencillo de un reactor bien mezclado es el de un matraz como el tratado arriba; este es un sistema cerrado que opera introduciéndole inicialmente una carga de material, y posteriormente, después de un tiempo determinado, se descargan los productos y reactantes para ser analizados. Un reactor de este tipo recibe el nombre de *reactor que opera por lotes* que viene del inglés *batch reactor*. Estos reactores se utilizan ampliamente a nivel de laboratorio.



a) Sustancia conservativa



b) Sustancia reactiva con degradación

Figura 3.7. Reactor operando como flujo pistón. En a) la sustancia es conservativa. En b) la sustancia es reactiva con degradación. En ambos casos la sustancia se transporta sin mezclarse con las aguas receptoras. χ_e representa la concentración de entrada y χ_s la concentración de salida. v es la velocidad de la corriente que, en este ejemplo, se dirige hacia la derecha.

Los reactores también se utilizan para tratar aguas residuales. Por ejemplo, cuando se desea reducir la cantidad de materia orgánica contenida en aguas residuales domésticas, se puede utilizar un reactor o un conjunto de reactores dispuestos en serie. Cuando los reactores se

colocan en serie, se consigue incrementar la eficiencia de tratamiento comparada con la eficiencia de un solo reactor con el mismo tiempo de retención que el conjunto de reactores mencionado. Este resultado se hará evidente en la siguiente sección, cuando se aborde el tema de diseño de reactores. Aunque existen una variedad amplia de reactores, en ingeniería ambiental es usual procesar aguas de desecho utilizando, ya sea reactores bien mezclados como los estudiados hasta ahora, o reactores denominados de **flujo pistón**. Un reactor de flujo pistón es una sección tubular o rectangular en donde el material se transporta sin mezclarse con las aguas que efectúan su traslado de un punto a otro; es decir el material es "empujado" por la corriente como si actuara un pistón. La figura 3.7 ilustra el comportamiento de un reactor operando como flujo pistón; en el caso a) el reactor transporta una sustancia conservativa y en b) una sustancia reactiva con degradación. Nótese como en el primer caso la sustancia permanece intacta, desde el punto de entrada hasta la salida del reactor, ya que la sustancia no reacciona ni se mezcla con las aguas que la transportan, de manera que la concentración a la salida χ_s es idéntica a la que existe en la entrada χ_e. En contraste en b), el reactor trasporta el material de un punto a otro, pero como éste se degrada, su concentración decrece, aun cuando el proceso de mezclado está ausente, de manera que la concentración a la salida es inferior a la concentración que existe a la entrada del reactor.

La ecuación que rige el comportamiento de un reactor operando en flujo pistón se obtiene efectuando un balance de masa en un volumen diferencial $dV = A_t dx$ del reactor. En donde A_t es el área transversal al flujo y dx es una diferencial de longitud. (Véase la figura 3.8). En este volumen diferencial se puede aplicar la ecuación 3.11 que, en ausencia de acumulación de masa y la presencia de un flujo másico de entrada F y otra de salida $F + dF$, además de la existencia de fuentes de intensidad f, proporciona la siguiente expresión

$$0 = F - (F + dF) + f dV$$

es decir

$$dF = f dV \tag{3.23}$$

Mediante las ecuaciones 3.3 y 3.5, la diferencial de flujo másico dF puede expresarse en términos de la diferencial de la concentración $d\chi$ y la velocidad de la corriente v, así

$$dF = Q d\chi = v A_t d\chi$$

De modo que sustituyendo este resultado en la ecuación 3.23, se obtiene la siguiente ecuación diferencial

$$v \frac{d\chi}{dx} = f \tag{3.24}$$

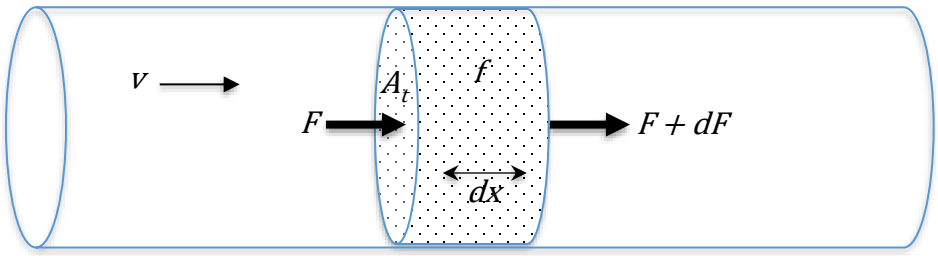


Figura 3.8. Balance de masa en un elemento deferencial de volumen $dV = A_t dx$

La ecuación 3.24 caracteriza el comportamiento de un flujo pistón en estado estacionario y constituye la base para el diseño de reactores que operan como flujo pistón.

Conviene notar en la ecuación 3.24 que, en ausencia de fuentes dentro del reactor, su concentración permanece constante, tal como se explicó arriba y se ilustró en la figura 3.7a

3.2.4 Diseño de reactores

El diseño de un rector o de un sistema de reactores implica determinar no únicamente sus características físicas, en cuanto a los elementos que lo integran y su disposición, sino de manera fundamental su tamaño, eficiencia de tratamiento y su capacidad operar con diferentes flujos másicos y gastos. Para simplificar el proceso de diseño, considérese primero un reactor bien mezclado con una entrada y una salida que opera en el estado estacionario, es decir, no existe dentro del reactor acumulación de la masa. Supóngase que el reactor es va a utilizar para tratar la materia orgánica que ingresa a él. Según lo visto en la sección 3.2.2, la ecuación 3.20, que resulta de un balance de masa en un sistema bien mezclado, rige el comportamiento del reactor; sin embargo, para un proceso estacionario en donde como ya se dijo, no existe acumulación de masa, dicha ecuación se reduce a la siguiente ecuación algebraica.

$$0 = Q\chi_e - Q\chi - k_d\chi V \tag{3.25}$$

El despeje de la concentración χ de esta ecuación proporciona una expresión que debe ahora resultar familiar, es decir

$$\chi = \frac{\chi_e}{1 + k_d\theta} \tag{3.26}$$

en donde $\theta = V/Q$ es el tiempo de retención del reactor.

Esta ecuación es la misma que la expresión 3.22; en otras palabras, el estado de equilibrio que representa la ecuación 3.22 es equivalente al estado estacionario que incorpora la ecuación 3.25 y que proporciona la ecuación 3.26

Obsérvese del problema resuelto 3.5 que la eficiencia de tratamiento de dicho reactor se puede calcular como sigue

$$\eta_t = 1 - \frac{\chi}{\chi_e} = 1 - \frac{1}{1 + k_d\theta} \tag{3.27}$$

Ahora considérese un conjunto de 3 reactores bien mezclados, pero configurados en serie, tal y como se ilustra en la figura 3.9. A cada uno de los tres reactores lo rige la ecuación 3.25, de manera que se puede plantear, a partir de un balance de masa practicado a cada reactor en estado estacionario, el siguiente conjunto de ecuaciones algebraicas

$$\begin{aligned} \text{Reactor 1:} \quad & 0 = Q\chi_e - Q\chi_1 - k_d\chi_1 V_1 \\ \text{Reactor 2:} \quad & 0 = Q\chi_1 - Q\chi_2 - k_d\chi_2 V_2 \\ \text{Reactor 3:} \quad & 0 = Q\chi_2 - Q\chi_3 - k_d\chi_3 V_3 \end{aligned} \tag{3.28}$$

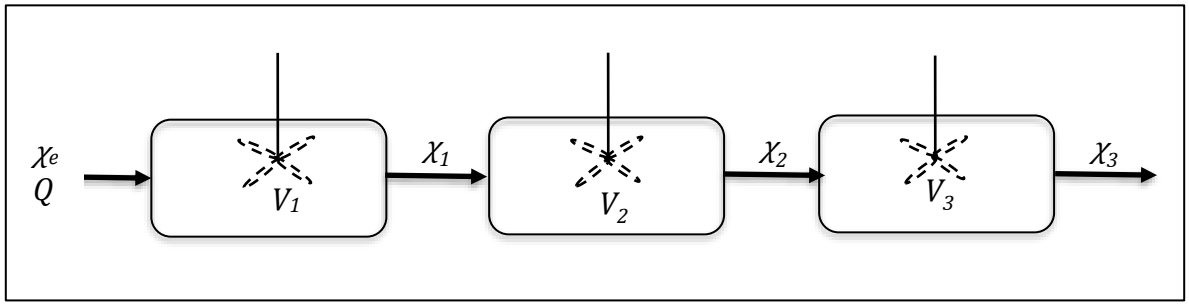


Figura 3.9. Conjunto de tres reactores bien mezclados operando en serie.

Es fácil resolver este sistema de ecuaciones, proporcionado los siguientes resultados

$$\chi_1 = \frac{\chi_e}{1 + k_d\theta_1}$$

$$\chi_2 = \frac{\chi_1}{1 + k_d\theta_2} \tag{3.29}$$

$$\chi_3 = \frac{\chi_2}{1 + k_d\theta_3}$$

En donde $\theta_1 = V_1/Q$, $\theta_2 = V_2/Q$ y $\theta_3 = V_3/Q$ son los tiempos de retención de cada reactor respectivamente.

Combinando estas tres ecuaciones, el sistema anterior se reduce a la expresión

$$\chi_3 = \frac{\chi_e}{(1 + k_d\theta_1)(1 + k_d\theta_2)(1 + k_d\theta_3)}$$

Es obvio que este resultado puede generalizarse para n reactores en serie, cada uno con un tiempo de retención θ_i, para i = 1…n, obteniéndose el siguiente resultado

$$\chi_n = \frac{\chi_e}{\prod_{i=1}^{n}(1 + k_d\theta_i)} \tag{3.30}$$

y en el caso particular, de que cada reactor tenga el mismo tiempo de retención θ, entonces la ecuación 3.30 se simplifica a

$$\chi_n = \frac{\chi_e}{(1 + k_d\theta)^n} \tag{3.31}$$

Problema resuelto 3.6 Sistema de reactores bien mezclados operando en serie

Se tiene tres reactores idénticos operando en serie, como se ilustra en la figura 3.9. El sistema trata un gasto Q = 0.005 m^3/s de aguas residuales domésticas con una constante de degradación kd = 0.5 dia^{-1} mediante reactores bien mezclados con un volumen V = 200 m^3 cada uno.

a) Determine la eficiencia de tratamiento del sistema de 3 reactores en serie
b) Calcule la eficiencia de tratamiento de un solo reactor con un volumen igual a la suma de los volúmenes del sistema de los tres reactores.

Solución

a) De la definición de eficiencia de tratamiento y la ecuación 3.31

$$\eta_t = 1 - \frac{\chi_3}{\chi_e} = 1 - \frac{1}{(1 + k_d\theta)^3} = 1 - \frac{1}{\left(1 + 0.5 \times \frac{200}{0.00 \times 86400}\right)^3} = 0.46$$

b) Un solo reactor tiene el tiempo de retención θt = 3V/G, de modo que

$$\eta_t = 1 - \frac{\chi}{\chi_e} = 1 - \frac{1}{1 + k_d\theta_t} = 1 - \frac{1}{1 + 0.5 \times \frac{3 \times 200}{0.005 \times 86400}} = 0.41$$

Problema resuelto 3.7 Reactor funcionando en flujo pistón

Un reactor que opera como flujo pistón recibe aguas residuales domésticas caracterizadas por una concentración de 120 ppm de materia orgánica y una constante de degradación
k_d = 0.6 día^{-1}. El reactor tiene un volumen de 50 m^3 y una eficiencia de tratamiento del 80%. Determine el tiempo de retención del reactor y el flujo másico máximo de materia orgánica que puede alimentársele.

Solución

Será necesario primero obtener una expresión para eficiencia de tratamiento del reactor en flujo pistón, similar a la ecuación 3.27 correspondiente al sistema bien mezclado. En la ecuación 3.24 que se aplica a un sistema flujo pistón, el término f obedece a una reacción de primer orden, o sea, $f = -k_d c$, ya que como se expuso en el inciso 3.2.2 la materia orgánica se transforma siguiendo este comportamiento. Por consiguiente, de la ecuación 3.24

$$v\frac{d\chi}{dx} = -k_d\chi$$

Integrando esta ecuación con la condición de que en x = 0, que corresponde al sitio de entrada de la materia orgánica al reactor, $\chi = \chi e$, se obtiene

$$\chi = \chi_e e^{-k_d\frac{x}{v}}$$

en donde χe es la concentración que recibe el reactor.
Si ahora se utiliza la definición de eficiencia de tratamiento ηt, se consigue el siguiente resultado

$$\eta_t = 1 - \frac{\chi}{\chi_e} = 1 - e^{-k_d\frac{x}{v}} = 1 - e^{-k_d\theta} \qquad \text{(E3.7.1)}$$

Obsérvese en la ecuación E3.7.1 que el cociente

$$\frac{x}{v} = \frac{xA_t}{vA_t} = \frac{V}{Q} = \theta$$

El despeje del tiempo de retención de la ecuación E3.7.1 permite obtener los siguientes resultados

$$\theta = \frac{\ln(1-\eta_t)}{-k_d} = \frac{\ln(1-0.8)}{-0.6} = 2.68\ días$$

$$Q = \frac{V}{\theta} = \frac{50}{2.68} = 18.66\ m^3/día$$

$$Flujo\ másico\ F = c_e Q = 120 \times 1000 \times 18.66\ mg/día = 2.2\ kg/día$$

3.3 Balances de energía

En forma análoga a un balance de masa que está sustentado en el principio de conservación de la masa, un balance de energía se efectúa partiendo del principio de conservación de la energía. Este principio se conoce también como **primera ley de la termodinámica**. Se expuso en el capítulo 3.1 que ambos principios pueden enunciarse mediante la expresión 3.6 que se repite aquí

$$Acumulación = Ingreso\ de\ flujos - Egreso\ de\ flujos \pm Fuentes$$

En la mayoría de los problemas de ingeniería ambiental, especialmente los problemas relacionados con lo que se denomina *contaminación térmica*, que representa el exceso de temperatura de cuerpos de agua debido a descargas de agua caliente originadas por industrias que requieren aguas de enfriamiento, la energía de corrientes y cuerpos de agua está constituida principalmente por energía asociada a su temperatura, es decir a su energía interna, de manera que se puede despreciar la energía cinética y potencial así como el trabajo de flujo y el trabajo que ocasionan esfuerzos tangenciales que dan lugar a la disipación de la energía cinética y potencial de las corrientes. En otras palabras, únicamente es relevante la energía interna que está asociada a la temperatura del agua, de acuerdo a la siguiente expresión

$$Cambio\ de\ energía\ interna\ dU = mc_p dT$$

en donde c_p representa el calor específico del agua.

De lo anterior se deriva que, para un sistema bien mezclado, el término de acumulación se puede expresar como sigue

$$Acumulación\ \frac{dU}{dt} = mc_p \frac{dT}{dt} = \rho c_p V \frac{dT}{dt} \tag{3.32}$$

Por otra parte, los flujos de energía transferidos al sistema bien mezclado corresponden a la energía interna incorporada a los flujos de masa de agua que ingresan y egresan del sistema; éstos pueden expresarse así

$$Flujo\ de\ energia = \ \rho Q c_p T \tag{3.33}$$

La sustitución de las ecuaciones 3.32 y 3.33 en la expresión 3.6, permite obtener la siguiente ecuación, en donde se ha despreciado el término de fuentes.

$$V\frac{dT}{dt} = \ \sum_{i=1}^{ne} Q_{ei}T_{ei} - \sum_{i=1}^{ns} Q_{si}T_{si} \tag{3.34}$$

Obsérvese la similitud entre la ecuación 3.34 y la ecuación 3.11.

Es importante notar que tanto el término de acumulación, así como los flujos de energía, representan energía por unidad de tiempo, es decir constituyen potencias.

Aunque el término de fuentes puede ser relevante en algunos problemas que involucran la contaminación térmica de cuerpos de agua, por ejemplo, para incorporar la radiación solar y el intercambio de calor que se efectúa entre la atmósfera y el cuerpo de agua, constituido principalmente por energía radiante procedente de la atmósfera y el propio cuerpo de agua, así como la evaporación y conducción de calor con la atmósfera, el estudio de este tema rebasa el alcance de la presente obra.

3.3.1 Aplicación de la primera ley de la termodinámica: Contaminación térmica

Se explicó arriba que el problema de contaminación térmica del agua lo ocasiona la descarga de aguas de enfriamiento provenientes de la industria. Esta agua con exceso de temperatura, en el caso de ser descargada a un cuerpo de agua, como por ejemplo un río o un lago, impactaría directamente en la vida acuática, afectando el sistema ecológico, además que propiciaría una disminución del oxígeno disuelto necesario para la respiración de todos los organismos acuáticos que habitan dicho sistema.

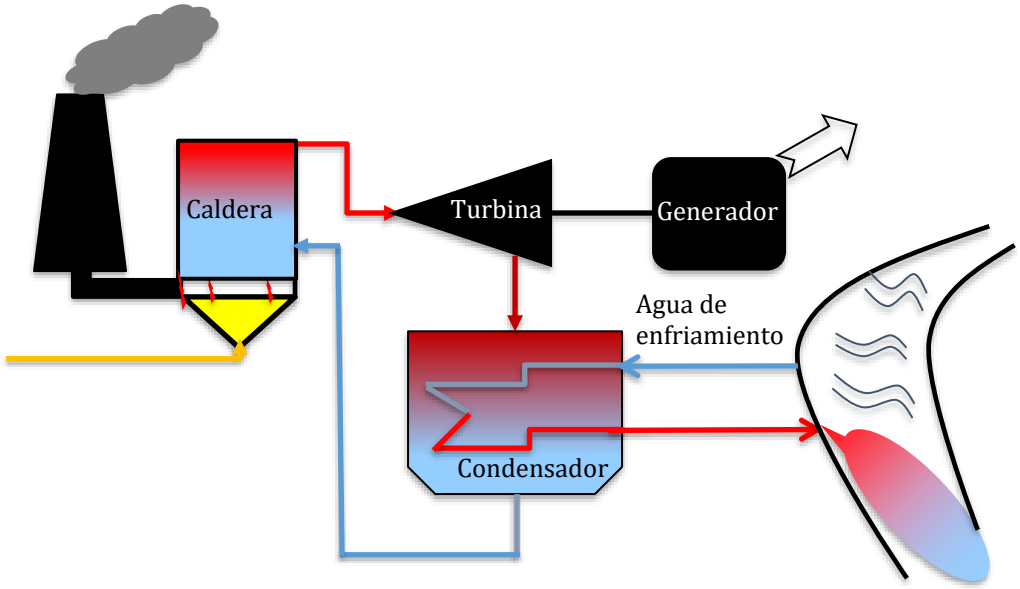


Figura 3.10. Sistema de enfriamiento empleado por una central termoeléctrica. El río se contamina térmicamente al no existir ningún sistema de enfriamiento de las aguas procedentes del condensador.

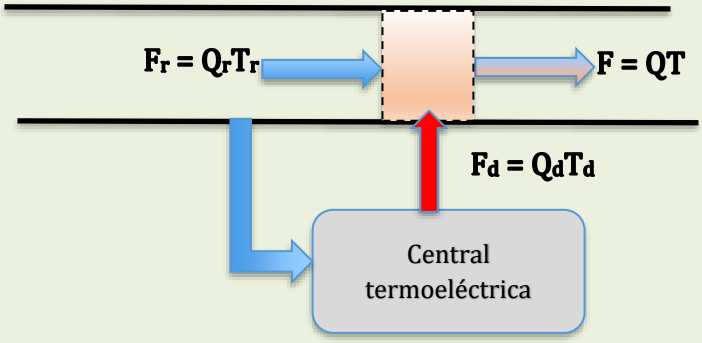
Un ejemplo típico que ilustra el problema de contaminación térmica mencionado, es el de una central termoeléctrica que demanda grandes cantidades de agua de enfriamiento. El agua de enfriamiento es necesaria para condensar el vapor de agua proveniente de las turbinas con objeto de poder incorporar el agua a la caldera; este proceso constituye un ciclo cerrado que utiliza agua de muy alta calidad. Como se ilustra en la figura 3.10, primero se genera vapor sobrecalentado en la caldera que utiliza combustibles fósiles como gas, carbón o petróleo. Este vapor sobrecalentado se encarga de mover las turbinas de vapor que a su vez impelen a un generador para obtener energía eléctrica. Como el vapor de agua pierde energía después de mover las turbinas, es necesario incorporarlo a la caldera con el fin de sobrecalentarlo nuevamente, condensándolo previamente utilizando agua fría procedente de un cuerpo de agua. Este proceso transfiere calor del agua de recirculación originada en la central termoeléctrica al agua de enfriamiento proveniente del cuerpo de agua a costa de contaminarlo térmicamente

Problema resuelto 3.8 Contaminación térmica de un río originada por una descarga térmica

Un río tiene un caudal de 50 m^3/s y una temperatura de 20 ^0C recibe una descarga de aguas procedentes del sistema de enfriamiento sin tratamiento de una central termoeléctrica. La descarga tiene un gasto de 20 m^3/s y una temperatura de 30 ^0C. Determine el impacto que tiene dicha descarga en la temperatura del río inmediatamente río abajo del sitio de descarga.

Solución

La porción del río influenciada por la descarga (véase el diagrama anexo) recibe dos flujos de energía; la del río y la de la descarga de la central termoeléctrica, por tanto, de la ecuación



3.34, en ausencia de acumulación de energía, se tiene que

$$QrTr + QdTd = QT$$

En donde Q representa la suma de los dos gastos de entrada, es decir,

$$T = \frac{Q_r T_r + Q_d T_d}{Q_r + Q_d}$$

$$T = \frac{50 \times 20 + 30 \times 30}{50 + 30} = 23.75\ ℃$$

Según se observa en la figura 3.11 este problema se evita utilizando una torre de enfriamiento, cuya función es enfriar el agua caliente procedente del condensador, permitiendo, además, la recirculación del agua de enfriamiento con el consiguiente ahorro de agua; sin embargo, debido a que una fracción de dicha agua se pierde al evaporarse en la torre de enfriamiento, deberá reponerse tomándola del cuerpo de agua. La torre de enfriamiento enfría el agua mediante transferencia de calor hacia la atmósfera por radiación, conducción con el aire frío y de manera significativa por evaporación. Si se considera a esta última forma de enfriamiento como la más significativa, se puede calcular la energía cedida por el agua al evaporarse con base en el concepto de calor latente de vaporación q_{lv}; esta es la energía que se requiere suministrar para evaporar un gramo de agua y tiene un valor de 539 cal/g a 100 ^{0}C y una atmósfera de presión. Obviamente en la torre de enfriamiento, el agua que se evapora toma la energía del agua líquida, enfriándola en el proceso de cambio de fase.

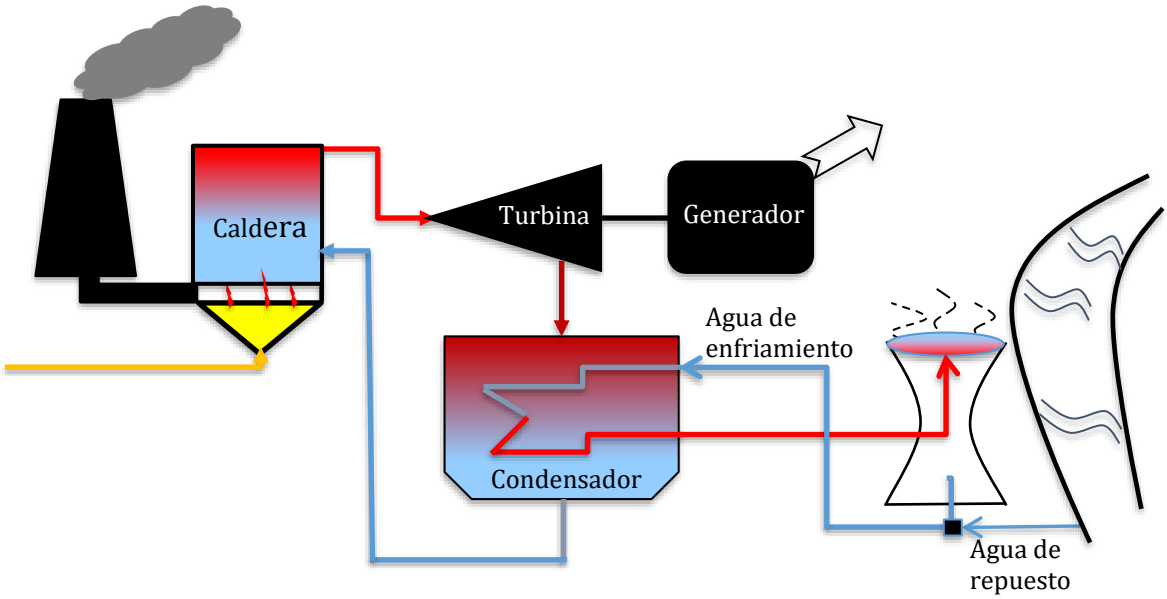


Figura 3.11. Sistema de enfriamiento empleado por una central termoeléctrica. La torre de enfriamiento evita la contaminación térmica del río, pero éste debe suministrar agua de repuesto.

3.3.2 Aplicación de la segunda ley de la termodinámica: Rendimiento de centrales termoeléctricas.

Existen varias formas alternativas de enunciar la segunda ley de la termodinámica; una forma simplificada de formularla consiste en expresar que, ningún proceso del cual se obtiene trabajo es 100% eficiente. Por consiguiente, en el caso de una central termoeléctrica, dicha ley limita la cantidad de energía eléctrica que puede generarse a partir de la energía disponible en forma de calor contenida en el combustible. El *ciclo de Carnot* permite establecer la máxima eficiencia o rendimiento que puede tener una máquina térmica. Este establece una relación entre la eficiencia térmica

o rendimiento y las temperaturas entre las cuales opera la central termoeléctrica. Si se considera que la fuente de calor es la energía contenida en la caldera, y ésta tiene una temperatura T_1, y que T_2 representa la temperatura a la que se cede el calor, por ejemplo, a un cuerpo de agua, entonces la eficiencia ideal del ciclo de Carnot se establece como sigue

$$\text{Eficiencia termica máxima } \eta_{max} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

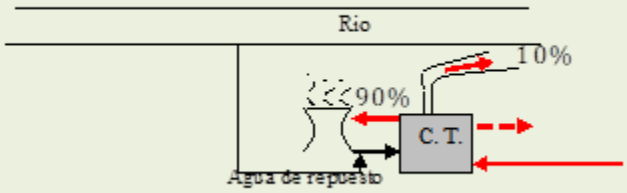
Es importante señalar que ambas temperaturas constituyen temperaturas absolutas.
Considerando una temperatura típica en la caldera de 650 ^{0}C y la del cuerpo de agua de 20 ^{0}C, entonces es eficiencia ideal es

$$\text{Eficiencia termica máxima } \eta_{max} = 1 - \frac{273+20}{273+650} = 0.68 = 68\%$$

Es interesante señalar que el rendimiento real de una central termoeléctrica típica se encuentra apenas entre 35% y 40%.

Problema resuelto 3.9 Central termoeléctrica operando con una torre de enfriamiento que impide la contaminación térmica del río

Una central termoeléctrica de 1000 MW de capacidad de generación tiene una eficiencia térmica del 35% y utiliza como sistema de enfriamiento una torre (véase la figura anexa). El 90% del calor de desecho se dirige hacia el sistema de enfriamiento y el resto escapa a la atmósfera por las chimeneas. Si se construye la torre de enfriamiento y se considera que la reducción de la temperatura del agua dentro de la torre se logra principalmente por vaporización, ¿aproximadamente qué gasto de agua deberá suministrársele al sistema de enfriamiento como reposición del agua perdida por la torre?



Solución

Nótese en la figura anexa como el sistema de enfriamiento constituido por la torre evita la contaminación térmica del río, sin embargo, se deberá tomar agua del río para reponer la pérdida de agua que ocasione la torre de enfriamiento, ya que ésta enfría el agua principalmente por evaporación. El gasto de agua que deberá reponerse es igual al agua perdida por evaporación. Para estimar este caudal se empleará el concepto de calor latente de vaporización mencionado anteriormente, con el cual se puede calcular el calor cedido Q_c por el agua líquida al evaporarse, así

$$Q_c = mq_{lv} = \rho V q_{lv}$$

Derivando esta ecuación con respecto del tiempo para obtener la rapidez de transferencia de energía, se obtiene

$$\dot{Q}_{cf} = \dot{V}\,\rho q_{lv} \qquad \text{(E3.9.1)}$$

Problema resuelto 3.9 (continuación) Central termoeléctrica operando con una torre de enfriamiento que impide la contaminación térmica del río

En donde $\dot{V}$ representa el gasto de agua que se pierde por evaporación y $\dot{Q}_{cf}$ la energía po unidad de tiempo cedida al evaporarse el agua, es decir el calor de desecho del sistema d enfriamiento. Si en la ecuación anterior se sustituyen los siguientes datos:

Calor latente de vaporización: $q_{lv} = 539\ cal/g$
Calor de desecho en el agua de enfriamiento:

$$\dot{Q}_{cf} = 1000 / 0.35 \times (1.0 - 0.35) \times 0.90 = 1671.43\ MW = 399{,}314{,}285.71\ cal/s$$

Entonces el gasto de agua perdido por la torre de enfriamiento que deberá reponerse tomándola del río se obtiene de la ecuación E3.9.1, como sigue

$$Q = \dot{V} = \dot{Q}_{cf} / \rho q_{lv} = 399{,}314{,}285.71 / 10^6 (539) = 0.741\ m^3/\text{s}$$

En el cálculo correspondiente al calor de desecho obsérvese que la eficiencia térmica η_t se define así

$$\eta_t = \text{energía generada / energía que entra} = 0.35$$

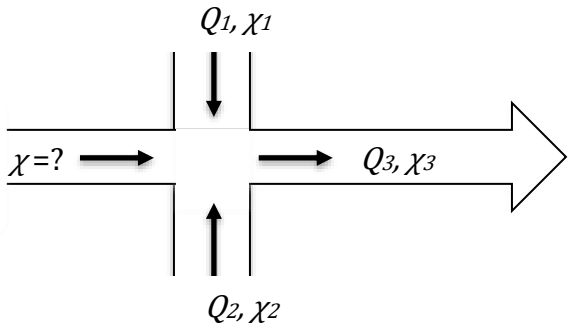
De modo que de la energía que entra, solamente se aprovecha el 35% y se desperdicia el $100 - 35\% = 65\%$

3.4 Preguntas y actividades propuestas

- Suponga que se tiene un litro de agua dulce y otro de agua de mar y se le introduce a ambos 1 mg de glucosa. Si la densidad media del agua de mar es de 1.0267 g/cm3, determine la concentración de glucosa en ppm en ambas muestras de agua

- Inmediatamente después de recibir dos tributarios, un canal tiene un caudal Q3 = 3 m3/s con una concentración χ3 = 10 mg/l de una sustancia que reacciona lentamente. Los datos de los tributarios son los siguientes:

Tributario 1: Q_1 = 0.9 m3/s, χ_1 = 4.2 ppm
Tributario 2: Q_2 = 1.2 m3/s, χ_2 = 3.2 ppm



Determine la concentración χ de la sustancia transportada por el canal, aguas arriba del punto de las descargas.

- A partir de la ecuación 3.20 obtener la ecuación 3.21. Posteriormente obtener la concentración de equilibrio, ecuación 3.22; primero haciendo tender el tiempo a infinito en la ecuación 3.22 y después estableciendo el estado estacionario en la ecuación 3.20. Se observa de este ejercicio que el estado equilibrio es equivalente al estado estacionario y que este puede obtenerse anulando el término de acumulación de la ecuación que representa un balance de masa.

- En el problema resuelto 3.5, calcule el tiempo de retención necesario para elevar la eficiencia de tratamiento del embalse a 85%. Si la profundidad promedio del embalse es de 5 metros, que superficie tendría que abarcar para lograr dicha eficiencia.

- Dos corrientes con un gasto de 1.8 m3/s cada una se mezclan adquiriendo una temperatura de 30 oC. Una de las corrientes tiene una temperatura de 40 oC. Efectuando un balance de energía en el sitio de mezcla, determine la temperatura que tiene el agua de la otra corriente antes de mezclarse.

Actividad 3.1
Balances de materia 1

Con base en el video "Balance de materia 1" (https://youtu.be/-GgGZRkFPzs) contesta a las siguientes preguntas:

1. ¿Porque el término de acumulación en la ecuación de conservación de la masa es nulo cuando se establece el estado estacionario?
2. ¿Qué se puede afirmar respecto a la concentración a la salida de un sistema bien mezclado?
3. Explica brevemente en qué circunstancias la concentración a la salida de un sistema bien mezclado es igual a la concentración a la entrada.
4. Explica brevemente en qué circunstancias la concentración a la salida de un sistema bien mezclado es menor a la concentración a la entrada.
5. Si el material dentro de un sistema bien mezclado que funciona en estado estacionario con una entrada de concentración χ_e y un tiempo de retención θ, se degrada siguiendo una reacción de segundo orden, es decir $f = -k_d\chi^2$, encuentra una expresión para la concentración a la salida del sistema.

Actividad 3.2
Balances de materia en un proceso de mezcla

Con base en el video "Balance de materia en un proceso de mezcla" (https://youtu.be/5q_My2WghSc) contesta a las siguientes preguntas:

1. Escribe el significado de la palabra "pienso" utilizada en el video

2. Escribe el enunciado del problema expuesto en el video mencionado

3. ¿A qué tipo de sistema se refiere el video?

4. ¿Qué se puede afirmar respecto a la materia que entra y sale para este tipo de sistema?

5. Supón que él % de proteína de una tonelada de pienso producido es del 48%. Determina las toneladas de productos A y B que deberán mezclarse para prepararlo.

Capítulo

4

Objetivos de aprendizaje

Objetivo general: El alumno aplicará los principios de ecología al análisis de los efectos típicos que las actividades humanas en general y las obras de ingeniería, en particular, causan en los ecosistemas.

En este capítulo se pretende que analices información y realices algunas actividades con las que aprenderás acerca de:

1. Los niveles de organización y las interacciones de los organismos vivos en los niveles de poblaciones, comunidades, ecosistemas y biosfera.

2. Las interconexiones entre transferencias de energía y nutrientes dentro de una red trófica o ecosistema.

3. Los roles de la fotosíntesis y de la respiración en la captura y transferencia efectiva de energía en los ecosistemas.

4. El flujo de carbono, nitrógeno y fósforo a través de los ecosistemas y el impacto de las actividades antropogénicas en dichos flujos.

5. El significado y las consecuencias de la intensificación.

6. Los beneficios, amenazas e indicadores de la biodiversidad en relación con la sociedad y las funciones de un ecosistema.

7. Las leyes, reglamentos y normas nacionales para la protección de los ecosistemas.

Capítulo

4

4. Ingeniería y principios de ecología

"Observa la naturaleza con atención y entenderás mejor todas las cosas"

Albert Einstein

En este preciso momento, gran cantidad de personas están experimentando los beneficios del desarrollo acelerado de la tecnología. Sin embargo, es importante reconocer que para producir esos beneficios se han infligido pérdidas significativas al ambiente natural.

La supervivencia humana depende de un ambiente favorable, compuesto de factores abióticos, como aire, agua y suelos ricos en nutrientes y minerales, así como de factores bióticos como plantas y animales que suministren alimento. No se trata de factores independientes entre sí, más bien, el ambiente humano está formado de redes de interrelaciones que pueden ser alteradas fácilmente por los propios humanos.

La actual crisis ambiental se manifiesta, entre otros efectos, por la contaminación, la extinción de especies y el rompimiento de los ciclos naturales. Dicha crisis se debe en gran parte a la forma como los seres humanos conciben y usan los recursos naturales. Si los conciben como disponibles e ilimitados, tanto los elementos del medio físico como biológico se explotarán para el "desarrollo" económico. Si los conciben como preciosos y limitados, los recursos naturales no serán aprovechados y no habrá desarrollo económico que beneficie a la sociedad. Entre estos dos extremos, una postura ética que permita el desarrollo armónico con la naturaleza implica comprender la manera en que las interacciones de unos seres vivos con otros y con su ambiente, determinan las adaptaciones morfológicas y fisiológicas, así como la abundancia, distribución y diversidad de los organismos en la naturaleza.

El estudio de las relaciones y acciones recíprocas entre los organismos vivos y su ambiente constituye la ciencia de la **ecología**. La unidad básica de la ecología es el **ecosistema**, considerado como el conjunto formado por los organismos vivos y el ambiente con el que intercambian materiales y energía. Los ecosistemas tienen tres tipos de componentes: **bióticos** (plantas y animales), **abióticos** que constituyen el medio físico (aire, agua, minerales y el suelo)

y **energía**, comúnmente en forma de luz solar, que es un componente esencial de la mayoría de los ecosistemas naturales.

Los ecosistemas pueden ser **terrestres** o **acuáticos**. En el ecosistema las fronteras son arbitrarias y se definen para fines de estudio, considerando las entradas y salidas de masa que pueden medirse. Por lo tanto, un estanque puede estudiarse como un ecosistema por separado o incluso la totalidad de la superficie de la Tierra puede verse como un ecosistema. Se usa el término **biosfera** para referirse a esta capa superficial relativamente delgada, de aire, agua y suelo en la que existe vida. Tiene aproximadamente 14 kilómetros de espesor, desde el fondo del océano a la atmósfera inferior. Todos los ecosistemas están conectados para formar la biosfera.

Como ejemplo de **interrelación de ecosistemas**, puede citarse la vida alrededor de un río caudaloso, la cual depende de los ciclos anuales de las avenidas, éstas a su vez dependen del equilibrio de agua en los afluentes, mismo que se relaciona con los sistemas forestales.

En sentido más amplio, los organismos que viven en las masas continentales están interrelacionados de diferente manera con los que viven en los océanos. En virtud de lo anterior, aunque existan barreras entre los ecosistemas, funcionan intercambios entre ellos, por lo que puede afirmarse que la biosfera es un ecosistema gigantesco.

En el Capítulo 1 el término **impacto ambiental** se definió como la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza. Cualquiera que sea el sector de los proyectos de desarrollo económico: minería, turístico, industria química y petroquímica, obras de uso y manejo del agua, obras de sistemas de transporte, etc., normalmente se producen impactos ambientales adversos, tanto directos como indirectos, y de duración variable sobre la biota.

Como ejemplo de **impacto directo** se puede citar el desplazamiento de las comunidades existentes en un sitio determinado, mientras que los **impactos indirectos** sobre la flora y la fauna son aquellos que afectan a la porción abiótica, de la cual dependen las especies que forman parte de un ecosistema. En cuanto a su duración, los impactos pueden ser **temporales** o **permanentes**. Los términos usados para caracterizar y describir los impactos ambientales se explican detalladamente en el Tomo 2, Capítulo 6 de esta obra.

Los ingenieros deben comprender aspectos específicos de funcionamiento de la biosfera para no destruir pequeñas partes de ella o para no ponerla en peligro en su totalidad. En la etapa de planeación de un proyecto, al evaluar el impacto ambiental de una obra o actividad, el estudio de la porción biótica debe considerar el valor de lo que está presente en la zona de estudio (situación sin proyecto), así como la respuesta de las comunidades naturales a los impactos que causaría el proyecto, de llevarse a cabo (situación con proyecto).

La biosfera es un ecosistema cerrado porque no hay transferencia de material hacia adentro o hacia afuera de ella (la caída de meteoritos es despreciable), es decir, los materiales sobre la Tierra son esencialmente constantes y se reciclan a través de la biosfera.

Por el contrario, del flujo de energía solar, una parte se usa y otra se refleja al espacio. El movimiento constante de energía desde el Sol sostiene los ciclos vitales dentro de la biosfera.

El flujo de energía y el reciclaje de materiales (nutrientes) son necesarios para mantener la vida.

Existen dos principios básicos o **leyes de ecología**: el flujo de energía es unidireccional y los nutrientes tienen un camino cíclico. Estos principios se discuten en los siguientes subcapítulos.

4.1 Características de los ecosistemas

En la práctica, los ecólogos clasifican a la porción biótica en niveles de organización, dispuestos en forma jerárquica, de menor a mayor tamaño. El organismo individual, las poblaciones, las comunidades, los ecosistemas y la biosfera son los niveles de organización de la porción biótica que estudia la ecología. Un **individuo** es un organismo unitario y autónomo, por ejemplo, un encino, una bacteria del cólera, un conejón de los volcanes (Foto 4.1). Los individuos de una misma **especie** presentan características genéticas tales que permiten su continuidad a través del tiempo.



Foto 4.1. Un individuo es un organismo unitario y autónomo, por ejemplo, el conejón de los volcanes (*Romerolagus diazi*). Fuente: Carlos Galindo Leal, Banco de imágenes CONABIO.

La composición de especies permite medir el grado de organización de la comunidad, de manera que, a mayor cantidad de especies existentes en la comunidad, la **diversidad** es mayor. La diversidad determina las posibilidades para establecer una trama de relaciones. La estabilidad es otra medida del grado de organización de la comunidad.

Un conjunto de organismos de la misma especie es una **población** si coexisten en un espacio determinado y se reproducen entre ellos. Las propiedades de una población son su densidad, proporción sexual y tasa de natalidad. Un ejemplo de población son las salamandras de la misma especie que viven en un estanque (Foto 4.2).



Foto 4.2. Salamandra cartilaginosa tamaulipeca (*Chiropterotriton cracens*). Fuente: Elí García Padilla, Banco de imágenes CONABIO.

La **comunidad** es una reunión de poblaciones de diversas especies que viven en una región o hábitat particular. La composición, la diversidad y la estabilidad son ejemplos de propiedades de las comunidades. Por ejemplo, la comunidad de una porción de la selva se refiere sólo a sus plantas, animales, bacterias y hongos (Foto 4.3).

Para referirse a la comunidad dentro del ecosistema se usa el término **biocenosis** y a la trama de elementos físicos se le denomina **biotopo** o escenario físico de la vida.

En la comunidad existen múltiples interacciones causadas por la transferencia de materia y energía a través de muchas vías.

Constantemente los organismos cambian en abundancia, distribución geográfica y composición genética, debido a que las especies están sujetas a una fuerte presión de selección. Por otra parte, los organismos influyen constantemente sobre el ambiente físico en el que habitan que, al ser tan heterogéneo, contribuye a la complejidad del ecosistema.

El **rango de tolerancia** ante los cambios en las condiciones climáticas, geográficas, etc., es restringido para la mayoría de los organismos. Este concepto es muy importante cuando se considera la reubicación de organismos como medida de mitigación del impacto de un proyecto sobre una especie, pues es de esperarse que, al ser trasladados de su hábitat a otros sitios, su supervivencia se vea seriamente amenazada.



Foto 4.3. La comunidad de una porción de la selva húmeda en Ocosingo, Chiapas se refiere sólo a sus plantas, animales, bacterias y hongos. Fuente: Miguel Ángel Sicilia Manzo, Banco de imágenes CONABIO.

Recuadro 4.1
Cubierta vegetal de México

Debido a que el territorio nacional se localiza entre la zona tropical de Centroamérica y el Caribe y la zona subtropical y templada de Norteamérica, tiene características únicas que determinan la presencia de casi todos los paisajes naturales que existen en la Tierra: las selvas más húmedas, los matorrales tropicales más cálidos, los desiertos más áridos y hasta la tundra alpina.

La variación de altitudes, los diferentes tipos de clima, roca y suelo da como resultado que dos comunidades, que se clasifican como si fueran el mismo tipo de vegetación, tengan una composición de especies distinta. Por ejemplo, el matorral desértico en Puebla tiene distinta flora y fauna que el matorral desértico en Sonora (Fotos 4.4 y 4.5).

La cantidad de especies que sustenta el territorio nacional es de las más grandes en el mundo. De acuerdo a estimaciones de botánicos mexicanos, existen entre 25000 y 35000 especies de helechos, coníferas y todo tipo de plantas con flores, todas ellas disponen de vasos por los que circula la savia, por lo que son llamadas plantas vasculares. Por otra parte, también es rico en especies de insectos y vertebrados.



Foto 4.4. Matorral desértico en Bacarona, Sonora. Al comparar este matorral con el de la Foto 4.5, se puede afirmar que dos comunidades, que se clasifican como si fueran el mismo tipo de vegetación, pueden tener una composición de especies distinta debido a los diferentes tipos de clima, roca y suelo. Fuente: Efraín Hernández Xolocotzi, Banco de imágenes CONABIO.



Foto 4.5. Compárese este Matorral de Zapotitlán Salinas, Puebla, con el de la Foto 4.4. Fuente: Iván Montes de Oca Cacheux, Banco de imágenes CONABIO.

4.1.1. Sucesión ecológica

Las comunidades naturales son el resultado de un proceso histórico, es decir, han pasado a través de una serie de cambios reconocibles denominados **sucesión ecológica**. Los organismos que forman parte de la comunidad modifican su ambiente a través del tiempo, de tal manera que deviene una comunidad formada con organismos más especializados. Se consideran dos tipos de sucesión: primaria y secundaria. La **sucesión primaria** ocurre en un área en donde no existía vida con anterioridad, como son las rocas desnudas, pendientes, flujos de lava, barras de arena y dunas. Las **sucesiones secundarias** ocurren en sitios desnudos que sostenían vegetación previamente y la pierden debido a fuerzas naturales de cambio, tales como inundaciones, incendios, huracanes y a las actividades humanas perturbadoras. La sucesión secundaria es el tipo de cambio de comunidad más común.

Los primeros organismos en ocupar un área desnuda son las **especies pioneras**. Éstas son generalistas con unos cuantos requerimientos específicos, si es que tienen alguno, y demandan un mínimo de recursos sobre el sitio. Entre las especies pioneras se pueden observar desde líquenes hasta plantas que florean anualmente. Las especies de plantas pioneras están sometidas a condiciones difíciles y su función es permanecer durante años, más aún, su sola presencia lleva a cambios graduales en el sitio que favorecen la llegada de otros tipos de plantas y animales. Esta secuencia de reemplazo puede repetirse a sí misma varias veces. Cada etapa se compone de plantas y animales más grandes y de una diversidad siempre creciente. Eventualmente, la comunidad natural entra en armonía con su ambiente y el resultado es una comunidad estable, denominada **comunidad clímax**, en la que existen especies que se mantienen indefinidamente, sin dar espacio a otras especies. Llegar a la etapa de comunidad clímax en sucesión puede tomar décadas o siglos, lo que está en función del clima, geografía y recursos biológicos del área. Cualquier perturbación a una comunidad natural en cualquier etapa de la sucesión, regresará el reloj a alguna etapa anterior, y el proceso de sucesión secundaria procederá a partir de allí.



Foto 4.6. En los flujos de lava de la erupción del volcán Xitle, en donde actualmente es la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Cd. de Méx., inicialmente no existía una comunidad vegetal. La sucesión primaria dio lugar a un matorral. Fuente: Jerzy Rzedowski Rotter, Banco de imágenes CONABIO.

Recuadro 4.2
Alteración de comunidades naturales

Cualquiera que sea el uso pretendido (agrícola o pastoril, explotación de los recursos naturales o construcción de obras de ingeniería), al abrir nuevas tierras se elimina total o parcialmente la cubierta vegetal.

En México en la época moderna, las ciudades de la civilización maya fueron encontradas cubiertas por selva. Por lo tanto, la selva fue talada para construir las ciudades y se recuperó después de su abandono. Este es un ejemplo de sucesión secundaria, o repoblamiento gradual de una zona hasta la regeneración de la comunidad viviente original, a partir de un terreno abandonado, cuando el germoplasma[1] necesario existe aún para que surjan las especies originales de la comunidad.

En nuestros días no siempre es posible la recuperación de las comunidades originales. Si una comunidad natural es alterada, puede permanecer así indefinidamente, lo que depende de qué tan deteriorado esté el suelo y de la existencia de comunidades cercanas que puedan aportar elementos florísticos y faunísticos colonizadores.

En la actualidad, la alteración de las comunidades naturales debida a las actividades agrícolas y ganaderas, se efectúa inicialmente en terrenos planos con suelos profundos, con potencial productivo debido a que conservan la humedad. Más tarde se utilizan los suelos con pendiente y proclives al deterioro, el cual depende del conocimiento que tengan los agricultores sobre la forma de trabajar en esas condiciones de terreno. La etapa siguiente es el uso de terrenos no aptos, que se deterioran rápidamente y cuya capacidad productiva dura poco. La consecuencia es el desplazamiento de los pobladores a otros terrenos con características similares, en donde suelen reiniciar el mismo proceso.

[1] El **germoplasma** es el conjunto de genes que se transmite en la reproducción a la descendencia por medio de gametos o células reproductoras. El **concepto de germoplasma** se utiliza comúnmente para designar el genoma de las especies vegetales silvestres y no genéticamente modificadas de interés para la agricultura.



Foto 4.7. Eliminación de la cubierta vegetal para la construcción de la carretera Huatulco, Oaxaca. Fuente: Patricia Ramírez Bastida, Banco de imágenes CONABIO.



Foto 4.8. Ejemplo de sucesión secundaria, o repoblamiento gradual de una zona hasta la regeneración de la comunidad viviente original. Zona Arqueológica de Yaxchilán, Chiapas. Fuente: María Elena Lavín Tierra, Banco de imágenes CONABIO.



Foto 4.9. Alteración de la cubierta vegetal por actividades agrícolas, se utilizan suelos con pendiente y proclives al deterioro. Parque Nacional Iztaccíhuatl- Popocatépetl, Estado de México. Fuente: Iván Montes de Oca Cacheux, Banco de imágenes CONABIO.



Foto 4.10. Alteración de la cubierta vegetal por actividades de pastoreo. Isidro Fabela, Estado de México. Fuente: Jerzy Rzedowski Rotter, Banco de imágenes CONABIO.

4.1.2. Asociaciones bióticas naturales

Entre otros factores físicos, la humedad, temperatura y luz solar, determinan los límites ambientales en los que se desarrollan las asociaciones bióticas naturales. Existen dos grupos bióticos: **acuáticos** (principalmente de agua dulce y marina) y **terrestres** (tabla 4.1). Los terrestres constituyen aproximadamente 80% de todas las especies de organismos vivos que habitan la Tierra, y en dicho grupo se incluye la más grande variedad de organismos y ecosistemas. No obstante que los hábitats marinos ocupan más del 70% de la superficie de la Tierra, la vasta mayoría de los organismos marinos está confinada en aguas poco profundas.

Los grupos bióticos terrestres y acuáticos se subdividen en grupos regionales llamados **biomas**, que son producto principalmente de climas regionales y están caracterizados por formas de vida dominantes. Por ejemplo, un bioma de pastizal está dominado por pastos. A su vez, los biomas están compuestos de comunidades naturales más pequeñas, pero reconocibles.

Principales grupos bióticos terrestres en México

La superficie total de México es de 196.4 millones de hectáreas, un complejo de combinaciones derivadas de la formación de montañas y el relieve terrestre, con diferentes procesos de formación del suelo, vinculados estrechamente con los climas propios de cada región, cada uno de los cuales sostiene recursos bióticos característicos; tales ambientes son aprovechados por el hombre. La utilización de los elementos es diversa y con frecuencia el manejo de los recursos naturales no es correcto debido a que la apropiación de la naturaleza se efectúa sin conocer o tomar en cuenta todos los factores ambientales, ya sea por razones sociales, económicas, políticas y culturales, provocados por una errónea vinculación sociedad naturaleza.

Tabla 4.1. Asociaciones bióticas naturales

GRUPOS BIÓTICOS	BIOMAS	ECOSISTEMAS
Acuáticos	Océanos	Manglar; estuario
		Línea costera
		Plataforma continental (región nerítica)
		Océano abierto (región pelágica)
	Sistemas de agua dulce	Ciénega de agua dulce
		Estanques
		Lagos
		Corrientes
		Ríos
Terrestres	Tundra	Tundra ártica
		Tundra alpina
	Bosque de coníferas	Bosque húmedo de coníferas
		Bosque seco de coníferas
		Bosque frío de coníferas
	Bosque caducifolio	Bosque caducifolio
	Bosque tropical	Bosque tropical lluvioso
		Bosque tropical seco
		Bosque tropical frío
	Bosque	Ripario
		Junípero
		Josué
		Roble
	Arbustos	Esclerófilo
		De monte
	Pastizales	Pasto alto
		Pasto mediano
		Pasto corto
		Matorral
		Sabana tropical
	Desierto	Desierto frío
		Desierto caliente

Fuente: (Wooten, 1980)



Foto 4.11. Con frecuencia el manejo de los recursos naturales no es correcto, debido a que la apropiación de la naturaleza se efectúa sin considerar todos los factores ambientales. Ocosingo, Chiapas. Fuente: Iván Montes de Oca Cacheux, Banco de imágenes CONABIO.

Recuadro 4.3
Vegetación de México

En México se distinguen 11 tipos de vegetación natural entre las cuales se reconocen 38 comunidades diferentes. Los tipos más importantes son:

Bosque de coníferas. Vegetación dominada por árboles perennifolios del grupo de las coníferas, que incluyen pinos y oyameles, pinabetes, enebros y cedros. Generalmente se presentan en climas templados y fríos de las partes altas de las cordilleras. Las coníferas, en especial los pinos, son los árboles más intensamente utilizados con fines industriales.

Bosque de latifoliadas. Vegetación dominada por árboles de hoja ancha, la mayoría caducifolios, principalmente encinos. Presentes sobre todo en climas templados en las montañas, ocasionalmente en sitios francamente cálidos. Aprovechables especialmente para producir carbón y criar ganado, actividades que en general causan la degradación de la vegetación e incluso su desaparición.

Bosque de coníferas y de latifoliadas. En algunas zonas coexisten los dos grupos de árboles formando bosques mixtos. Estos bosques se usan de forma similar a los de pinos o encinos.

Bosque mesófilo de montaña. Vegetación que se caracteriza por una densa cubierta de árboles donde coexisten numerosos géneros, se desarrolla en altitudes donde se forman bancos de niebla. El bosque es exuberante, con gran cantidad de helechos y lianas, así como de plantas que crecen sobre los árboles. Una porción importante de la flora del bosque mesófilo es endémica o está amenazada. Superficies importantes de este bosque se han desmontado para establecer cultivos, y en varias regiones se siembra café bajo la copa de los árboles.

Selva perennifolia y subperennifolia. Vegetación dominada por árboles de muchas especies, en climas muy lluviosos y cálidos. La copa puede rebasar los 50 metros de altura y siempre conserva una parte importante de su follaje. Bajo los árboles más altos hay varios estratos de vegetación de diferentes estaturas. Es una de las comunidades biológicas más diversas del mundo. Grandes áreas de este tipo de selvas han sido transformadas en pastizales para la ganadería o están sujetas a diferentes formas de agricultura.

Selva caducifolia y subcaducifolia. Vegetación dominada por árboles de diferentes especies de hoja caduca, que se desarrolla en ambientes cálidos con diferencias muy marcadas entre las temporadas de lluvias y de secas. El dosel rara vez rebasa los 15 metros de altura. Muchos de los árboles almacenan agua en sus tallos. Esta vegetación frecuentemente está sujeta a la agricultura de roza, tumba y quema, y a la ganadería extensiva, actividades que la degradan fuertemente.

Mezquital. Vegetación dominada por árboles espinosos, principalmente mezquites, que se encuentra en climas más bien áridos. Estos árboles permanecen verdes durante la sequía, ya que emplean las aguas subterráneas mediante sus largas raíces, razón por la cual crecen en suelos profundos y planos. Esto ha resultado en una fuerte destrucción de su hábitat, que es muy apto para la agricultura, y otros mezquitales están sujetos a una fuerte presión ganadera.

Matorral xerófilo. Vegetación dominada por arbustos, típica de las zonas áridas y semiáridas. Es el tipo de vegetación más extenso en México. El número de endemismos en estas zonas es sumamente elevado. En estas áreas la ganadería está sumamente extendida.

Pastizal. Vegetación dominada por herbáceas, principalmente gramíneas. Se le encuentra en cualquier clima, principalmente en las regiones semiáridas del norte y en las partes más altas de las montañas, por arriba de los 4,000 metros sobre el nivel del mar. Casi todos los pastizales de nuestro país se emplean para la producción ganadera, por lo general con una intensidad excesiva. Otros pastizales fueron bosques o matorrales, y la acción del ganado y el fuego los mantienen en esta forma alterada.

Fuente: (SEMARNAT, 2005, págs. 24-25)



Figura 4.1. Distribución de los ecosistemas en el territorio mexicano. Fuente: CONABIO. Si deseas saber más, visita la página http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/mapas/mapa.html

Recuadro 4.4
México mega diverso

México es considerado un país mega diverso ya que forma parte del grupo de las 17 naciones poseedoras de la mayor cantidad y variedad de plantas y animales, con aproximadamente 70% de la diversidad mundial de especies. También es uno de los tres países mega diversos (junto con Colombia y Estados Unidos de América) con litorales en los océanos Atlántico y Pacífico.

La ubicación tropical de nuestro país, su diversidad de climas, paisajes y suelos, su historia evolutiva, así como sus condiciones orográficas e hidrográficas, son la causa de la gran riqueza de flora y fauna que lo colocan entre los primeros cinco lugares a nivel mundial. Esta gran diversidad, aunada al legado cultural derivado del conocimiento ancestral en el uso consciente del capital natural, puede brindar oportunidades de desarrollo al mismo tiempo que confiere a los mexicanos una gran responsabilidad como custodios de la naturaleza para las futuras generaciones.



Actividad 4.1
Ecosistemas de México: extensión y distribución
Video Ecosistemas de México
https://youtu.be/n0cbfMk1aEI
Responder preguntas-guía sobre



Actividad 4.2
Manglares de México
Videos Manglares y Manglares de México
https://youtu.be/JSnC_HV9yL0
https://youtu.be/_ZK1rHjuNNw
Consulta la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003
Desarrollar las actividades propuestas

4.2 Flujo de energía

Energía es la capacidad de hacer trabajo. Puede ser convertida de una a otra forma, por ejemplo, de luz solar a energía potencial almacenada en moléculas de alimento, pero no puede ser creada o destruida. La **eficiencia** en la transformación de la energía en los ecosistemas no puede ser de 100 por ciento, pues siempre se pierde algo de ella, a esto se debe que no puede reciclarse en el ecosistema, su flujo es unidireccional (figura 4.2).

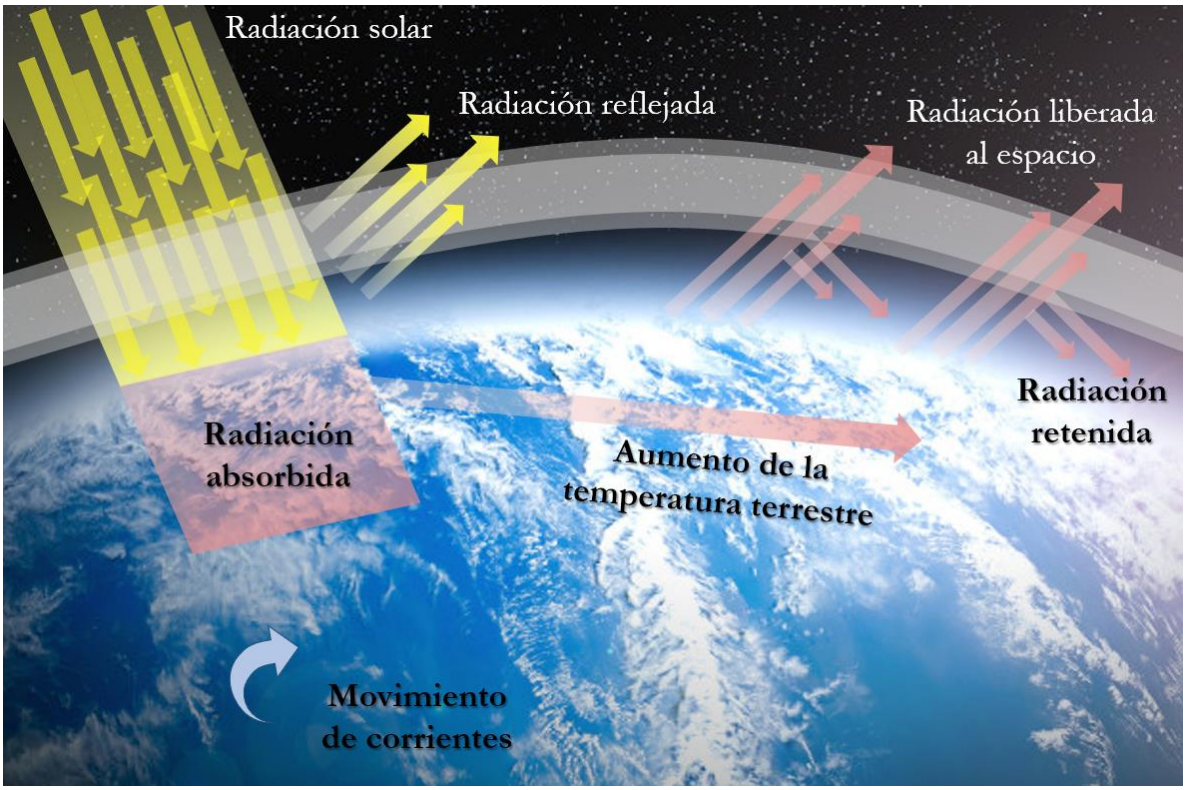


Figura 4.2. Flujo de energía

La fuente primaria de energía para todos los ecosistemas naturales es el Sol. La disponibilidad de energía en un momento determinado depende de la hora del día, del ciclo hidrológico y de la abundancia de nutrientes en la corteza terrestre.

La radiación solar entrante varía con la época del año y hora del día. Las nubes, gases y polvo reflejan hacia el espacio aproximadamente 25 a 30% de esta energía que nunca alcanza la Tierra; las nubes y la atmósfera absorben aproximadamente 25 por ciento. La energía remanente alcanza la Tierra, algo de ella se refleja, por ejemplo, la nieve puede reflejar cerca de 80%, mientras que el suelo oscuro puede absorber cerca de 90 por ciento.



Foto 4.12. La fuente primaria de energía para todos los ecosistemas naturales es el Sol. Bosque templado, Morelia, Michoacán. Fuente: Carlos Galindo Leal, Banco de imágenes CONABIO.

4.3 Cadenas y niveles tróficos

Una **cadena trófica** es una representación abstracta de las relaciones alimenticias dentro de una comunidad; es decir, es un diagrama descriptivo, una serie de flechas, cada una apuntando a una especie a partir de otra, lo que representa el flujo de energía trófica desde la presa (la especie consumida) hacia el depredador (el consumidor) (Smith & Smith, 2007). La figura 4.3 muestra de manera simplificada una cadena trófica, se observan los tres grupos generales de organismos: productores, consumidores y descomponedores. La cantidad total de materia en la Tierra es fija y las sustancias químicas necesarias para las funciones vitales se reciclan y circulan constantemente en el ecosistema.

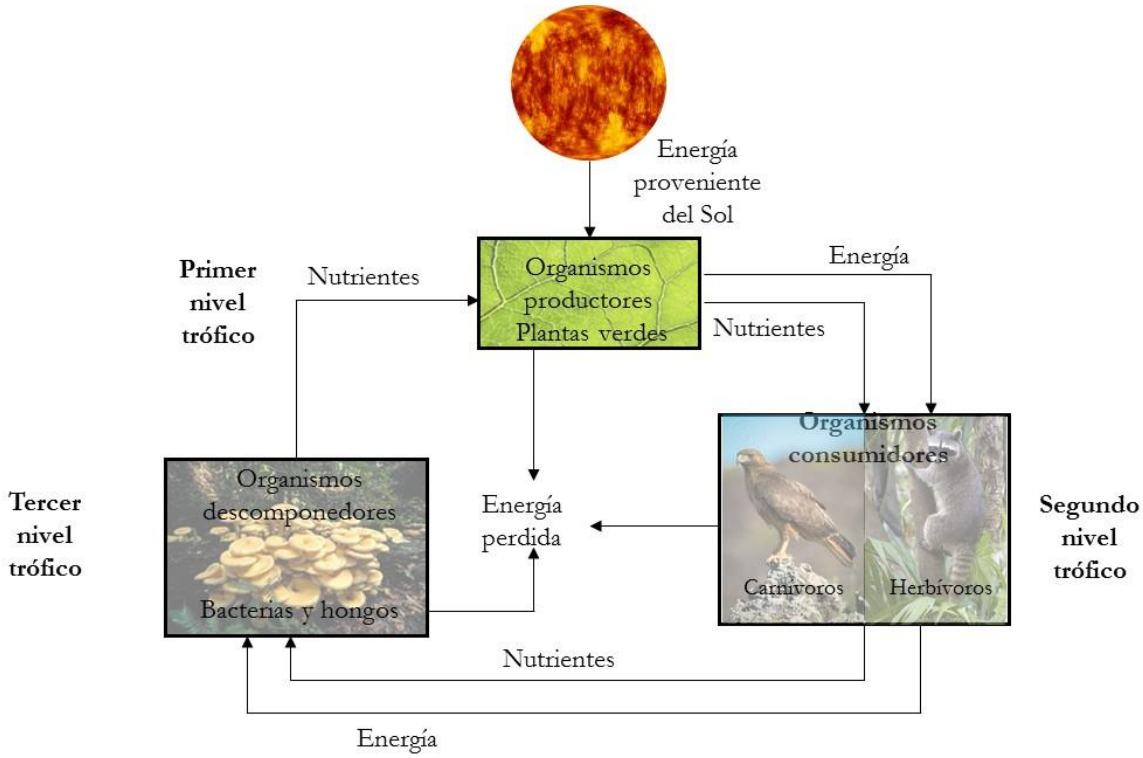


Figura 4.3. Cadena trófica simplificada

Las plantas son ejemplos de **productores**, mientras que el ganado o los roedores son ejemplos de **consumidores**, éstos en particular se denominan **herbívoros** ya que se alimentan directamente de las plantas. Entre los descomponedores se incluyen bacterias y hongos, son organismos que obtienen energía al degradar materia orgánica muerta dando lugar a sustancias más simples y compuestos orgánicos. También los animales carroñeros son importantes para reciclar materiales, se alimentan de animales muertos o de excrementos de animales.

En la figura 4.3 se observan los **niveles tróficos**, que es la clasificación funcional de los organismos de un ecosistema según las relaciones alimentarias. La cadena trófica inicia con el primer nivel trófico de organismos, los productores, es decir, las plantas verdes o bacterias quimiosintéticas que convierten la luz solar (las primeras) o la energía química (las segundas) en tejido vivo. Las plantas verdes son **organismos autótrofos**, es decir, obtienen su energía a partir de la luz solar. Los **organismos quimiótrofos** no obtienen energía de la luz solar, sino de compuestos de carbono orgánicos o inorgánicos. Los **quimiótrofos autótrofos** sintetizan masa celular a partir de formas inorgánicas de carbono.

En las células ocurren procesos biológicos y reacciones químicas, a los que se denomina **metabolismo**, que mantienen la vida de un organismo. La fotosíntesis y la respiración son procesos metabólicos fundamentales de los organismos vivos, como se explica a continuación.

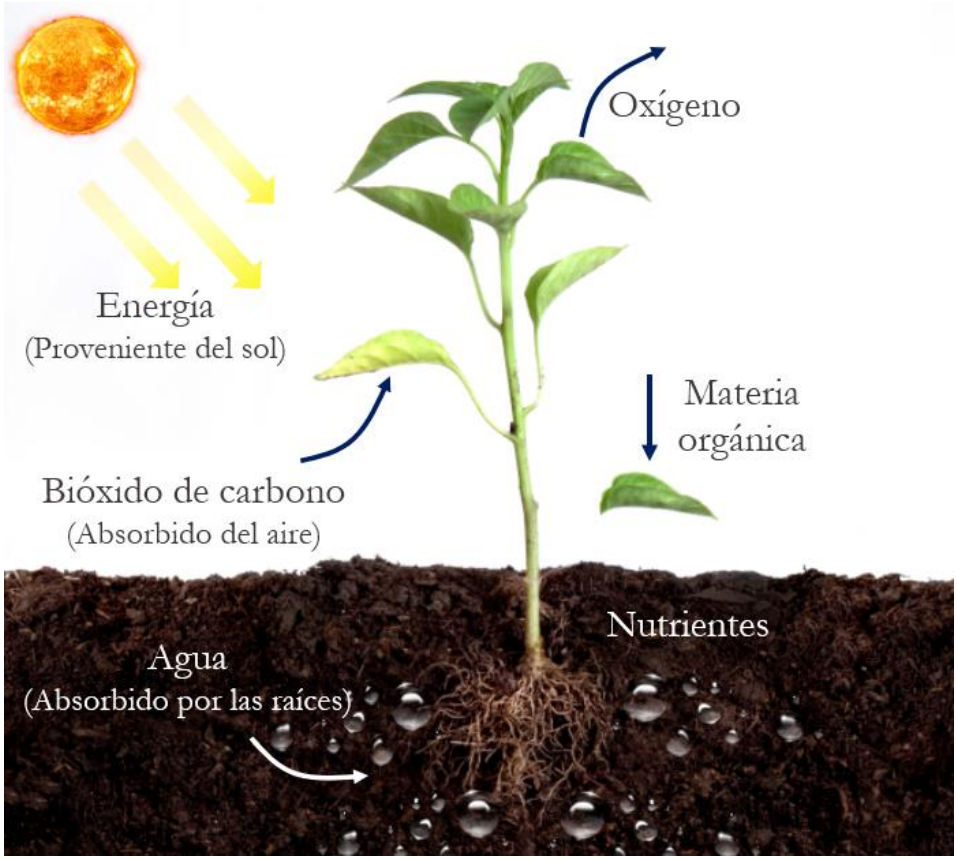


Figura 4.4. En la fotosíntesis, la energía del Sol es almacenada en moléculas orgánicas y está disponible para el siguiente nivel trófico.

Con la energía obtenida de la luz solar, en el proceso de **fotosíntesis** las plantas convierten el bióxido de carbono, agua y algunos nutrientes en sustancias orgánicas (figura 4.4). Las plantas utilizan energía solar para formar carbohidratos a partir del bióxido de carbono y agua. Los carbohidratos pueden también combinarse con nitrógeno, fósforo, azufre y otros elementos, formando otros compuestos orgánicos que son los bloques constitutivos de organismos vivos. El pigmento que da a las plantas su característico color verde, llamado **clorofila**, les permite sintetizar el material celular atrapando la energía solar y usando bióxido de carbono (CO_2), generando oxígeno como subproducto:

$$6CO_2 + 6H_2O \ + 2800\ kJ\ de\ energía\ solar \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

El compuesto químico representado por $C_6H_{12}O_6$ es el azúcar simple glucosa. Como se observa en la figura 4.4, las materias primas utilizadas (bióxido de carbono, agua y nutrientes) son pobres en energía almacenada; por el contrario, los productos de la fotosíntesis (carbohidratos y oxígeno) son ricos en energía. El que unas sean pobres y los otros ricos en energía puede entenderse en términos de su capacidad de producir calor cuando arden en el aire. Un material rico en energía, como la madera o el azúcar, puede arder con producción de calor; una sustancia pobre, como el bióxido de carbono, el agua o el nitrógeno, no puede hacerlo.

De los compuestos orgánicos ricos en energía almacenados en el tejido vegetal, una porción está disponible para ser usada por otros organismos que consumen las plantas en el siguiente nivel trófico.

El oxígeno liberado a la atmósfera durante el proceso de fotosíntesis es esencial para el metabolismo de toda la cadena trófica (figura 4.3). Entre los organismos consumidores existen varios niveles tróficos intermedios: los consumidores primarios (herbívoros), organismos que se alimentan de los vegetales; los consumidores secundarios (carnívoros), organismos que se alimentan de consumidores primarios o herbívoros; y los omnívoros, animales que se alimentan tanto de materia animal como vegetal.

Los organismos consumidores son **heterótrofos**, o sea que no son capaces de producir su propio alimento a partir de materia inorgánica y por lo tanto dependen de otros organismos, vivos y muertos, como fuente de energía y nutrientes. Los herbívoros usan los compuestos ricos en energía sintetizados por las plantas. A su vez, los carnívoros obtienen energía para su metabolismo cuando consumen a los herbívoros. El proceso metabólico debido al cual los consumidores obtienen energía del material orgánico almacenado en plantas y animales que ingieren es llamado **respiración**.

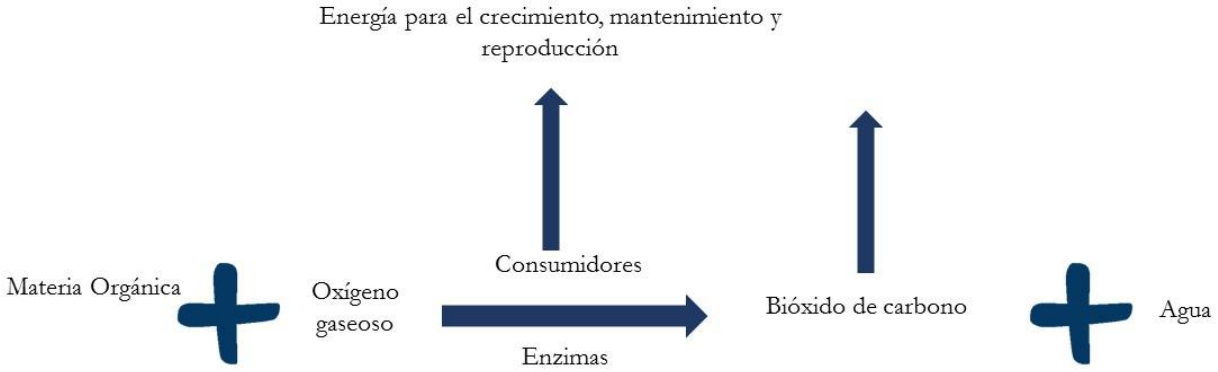


Figura 4.5. En la respiración se metaboliza la materia orgánica, liberando la energía almacenada para el uso de los organismos consumidores.

El proceso de respiración, mostrado en la figura 4.5, consiste en la asimilación metabólica de oxígeno, que se acompaña de la producción de bióxido de carbono y agua, liberación de energía y disgregación de compuestos orgánicos. En un sentido químico, la respiración es el proceso inverso al de fotosíntesis:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + Energía$$

La fotosíntesis produce sustancias orgánicas ricas en energía y oxígeno; la respiración disgrega las sustancias orgánicas y produce bióxido de carbono. La fotosíntesis requiere bióxido de carbono y la respiración requiere oxígeno. Este es uno de los equilibrios fundamentales en la naturaleza.

Como se muestra en la figura 4.3, los descomponedores ocupan el tercer nivel trófico. Son organismos que durante su propio metabolismo obtienen energía de la degradación de la materia orgánica muerta en sustancias más simples y compuestos orgánicos, quedando disponibles para los autótrofos; más precisamente estos organismos son bacterias y hongos, por lo que son microscópicos. Por ejemplo, el nitrógeno en forma de amoniaco no está disponible como nutriente para las plantas hasta ser convertido en nitrato por ciertas bacterias. Los nitratos pueden ser absorbidos por las plantas. Los descomponedores son esenciales para todos los ecosistemas naturales.

4.4 Flujo de masa

Los organismos vivos necesitan sustancias químicas del ambiente en cantidad suficiente, llamadas **nutrientes**, de los cuales trata este subcapítulo. Como se muestra en la figura 4.3, en un ecosistema el flujo de energía y el ciclo de nutrientes ocurren simultáneamente en la cadena trófica, son procesos estrechamente relacionados. En el ecosistema suceden al mismo tiempo cientos de cadenas tróficas combinadas en una compleja **red trófica** con conexiones que van desde los productores primarios hacia una serie de consumidores (figura 4.6).

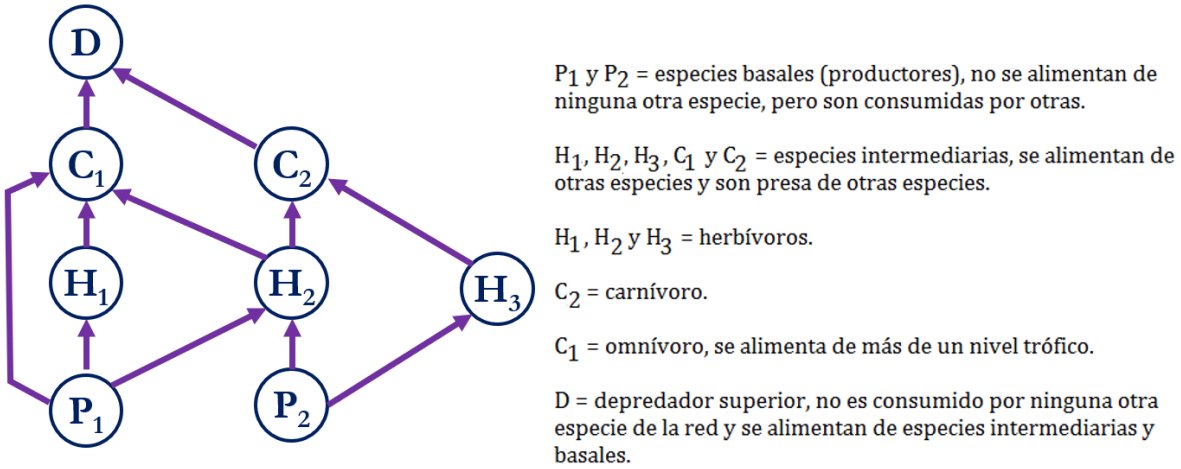


Figura 4.6. Ejemplo de una red trófica.

Dichas redes tróficas se encuentran altamente interconectadas y sus conexiones representan una amplia variedad de interacciones entre las especies.

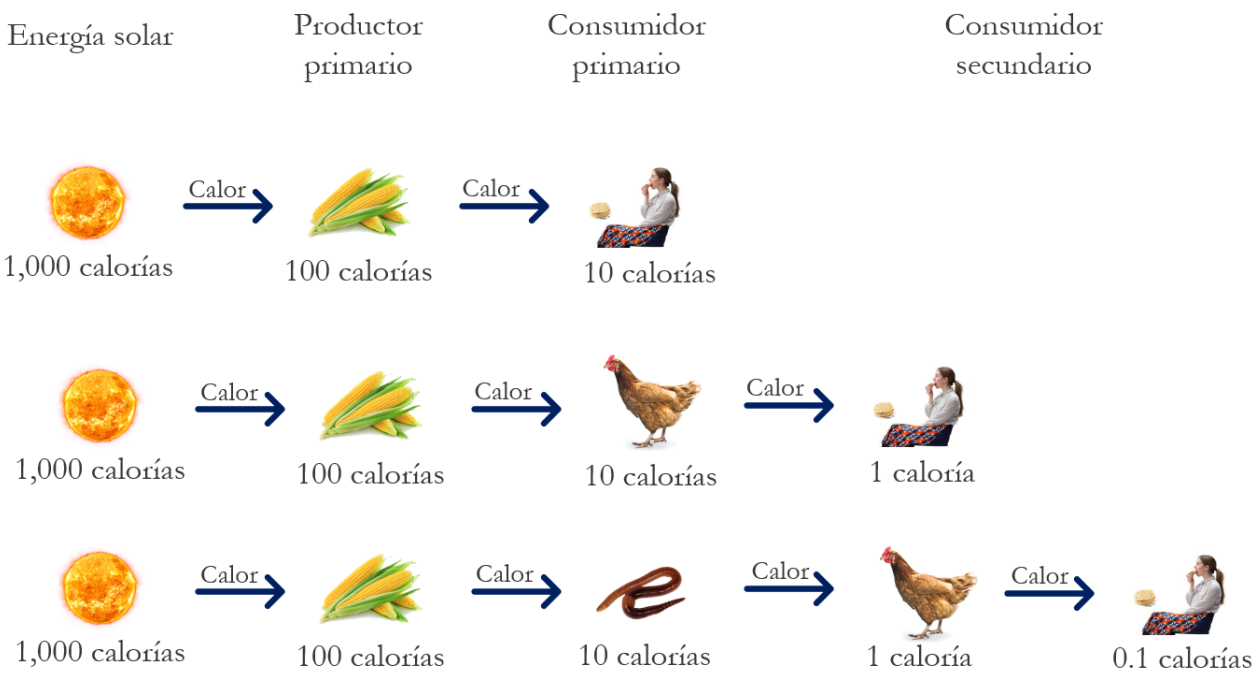


Figura 4.7. La eficiencia de la transferencia de energía de un nivel trófico al siguiente es menor al 10 por ciento.

En las figuras 4.3 y 4.7 se observa que en la cadena trófica la energía y los nutrientes pasan de uno a otro nivel, pero la energía disponible para el siguiente nivel trófico disminuye, pues ningún proceso de transformación de energía es 100% eficiente.

La causa de la disminución es que gran parte del alimento consumido por un organismo de un nivel trófico superior se pierde como desecho no digerido, o el propio organismo lo consume en su actividad metabólica para producir calor. Es muy poco lo que se convierte en tejido corporal, que pueden comer organismos de niveles superiores de la red trófica.

Problema resuelto 4.1 Conversión de energía

El material herbáceo que come un ciervo se compone de 18% de materia seca y ésta contiene energía en una proporción de 9 MJ/kg de materia seca. Cada día, 25% del total de energía ingerida se excreta como material no digerido; del material restante, 80% se pierde en forma de desechos metabólicos y calor, mientras que 20% se convierte en tejido corporal. Considerando que el ciervo consume cada día 20 kg de material herbáceo, ¿qué porcentaje de la energía consumida se convierte en tejido corporal?

Solución

1. Masa de materia seca consumida al día:

$$\frac{20kg}{día}\ \frac{(0.18kg\ de\ materia\ seca)}{kg} = 3.6\frac{kg\ de\ materia\ seca}{día}$$

2. Contenido de energía

$$\frac{9\ MJ}{kg\ de\ materia\ seca}\ \frac{(3.6kg\ de\ materia\ seca)}{día} = 32.4\frac{MJ}{día}$$

3. Dibujar un esquema de balance de energía

Figura P4.1

4. Cálculo de la energía digerida:

$$(0.75)(32.4)\frac{MJ}{día} = 24.3\frac{MJ}{día}$$

5. Energía que se convierte en tejido:

$$(0.2)(24.3)\frac{MJ}{día} = 4.86\frac{MJ}{día}$$

6. Porcentaje de energía consumida convertida en tejido corporal

$$\left(\frac{\frac{4.86MJ}{día}}{\frac{32.4MJ}{día}}\right)100 = 15\%$$

No obstante que en el problema resuelto 4.1 se obtuvo que 15% de la energía consumida por el organismo en la forma de tejido vegetal se convierte en tejido animal, se supone que con frecuencia apenas llega a 10 por ciento.

Problema resuelto 4.2 Eficiencia de la transferencia de energía

Considerar que una planta convierte 1% de la energía lumínica que recibe del Sol en tejido vegetal y que un animal almacena en su cuerpo 10% de la energía ingerida. Asumiendo que la planta recibe 10MJ de energía lumínica, calcular la energía de que dispone un individuo que come: (a) maíz; (b) carne de res; (c) ranas (que comen insectos, que comen hojas).

Solución

a. Energía de que dispone el individuo que come maíz:

$$10MJ \rightarrow Maíz\ (10\ MJ \times 0.01) \rightarrow Individuo\ (0.1MJ)$$

b. Energía del individuo que come carne de res:

$$10MJ \rightarrow Maíz\ (10\ MJ \times 0.01) \rightarrow Res\ (0.1MJ \times 0.1) \rightarrow Individuo(0.01MJ)$$

c. Energía de que dispone el individuo que come ranas:

$$10MJ \rightarrow Hojas\ (10\ MJ \times 0.01) \rightarrow Insecto\ (0.1MJ \times 0.1) \rightarrow Rana(0.01MJ \times 0.1) \rightarrow Individuo(0.001MJ)$$

Los componentes bióticos y abióticos del ecosistema están hechos de elementos químicos. En la tabla 4.2 se listan los más importantes, pero existen aproximadamente 40 elementos esenciales para la vida. Los **nutrientes principales** forman la mayor parte del material en la biosfera y son: hidrógeno, carbono y oxígeno. Estos elementos químicos forman la materia constitutiva de los seres vivos, aproximadamente 70% de su cuerpo es agua y de la masa seca restante 95% de las moléculas son compuestos de carbono, como: proteínas, azúcares y grasas.

Los **macronutrientes**, o nutrientes esenciales, son los que se requieren en cantidades relativamente grandes, como el nitrógeno, el cuarto elemento más abundante en la biosfera. Los organismos consumidores y muchos productores dependen de los llamados organismos fijadores de nitrógeno para disponer de dicho elemento. Estos organismos son bacterias que transforman el nitrógeno atmosférico en otras formas químicas que pueden ser utilizadas por las plantas.

Los **micronutrientes**, también llamados oligoelementos o no esenciales, son necesarios sólo en concentraciones muy pequeñas.

Tabla 4.2. Algunas funciones de los elementos necesarios para la vida

Grupo	Elemento	Símbolo	Principales funciones
Nutrientes principales	Hidrógeno	H	Universalmente requeridos como compuestos orgánicos de las células.
	Carbono	C	
	Oxígeno	O	
Macronutrientes	Nitrógeno	N	Constituyente esencial de proteínas y aminoácidos.
	Sodio	Na	Regula el contenido de agua y la acidez del medio extracelular.
	Magnesio	Mg	Cofactor de muchas enzimas, como la clorofila.
	Fósforo	P	Universalmente involucrado en reacciones de transferencia de energía y en ácidos nucleicos.
	Azufre	S	Presente en proteínas y otras sustancias importantes.
	Cloro	Cl	Uno de los principales iones.
	Potasio	K	Activador de enzimas
	Calcio	Ca	Cofactor en enzimas, importante constituyente de membranas, y regulador de la actividad de membranas.
Micronutrientes o elementos traza (sólo se mencionan unos cuantos)	Boro	B	Importante en vegetales, probablemente como cofactor de enzimas
	Silicio	Si	Presente abundantemente en muchas formas inferiores, como las diatomeas
	Manganeso	Mn	Cofactor de muchas enzimas.
	Hierro	Fe	Cofactor de muchas enzimas oxidativas, como la hemoglobina.
	Cobre	Cu	Cofactor de muchas enzimas oxidativas.
	Zinc	Zn	Cofactor de muchas enzimas, como la insulina.

Debido a que los ecosistemas son sistemas abiertos, la materia que sale de un ecosistema entra al ecosistema adyacente. A esto se debe que varios ecosistemas incluso distantes funcionen de manera integrada. Se les llama **metasistemas** a los conjuntos de ecosistemas conectados.

En la tabla 4.3 se muestran algunas vías de entrada y salida de masa de un ecosistema; algunas vías son de naturaleza biótica (movimiento de organismos y alimentación) y otras abióticas (agua o aire). En el flujo de masa intervienen procesos geológicos, químicos y biológicos, es por ello que los ciclos de materia reciben el nombre de **ciclos biogeoquímicos**.

Tabla 4.3. Flujos de masa de entrada y salida de un ecosistema

Entrada de masa		Salida de masa	
Vías	**Descripción**	**Vías**	**Descripción**
Ríos	Introducen agua, animales muertos, heces, troncos, ramas y otros materiales vegetales	Ríos	Transportan diversos materiales hacia afuera del ecosistema.
Dispersión de partículas atmosféricas	El viento acarrea partículas de la atmósfera como: cenizas volcánicas, arenas, hollín producido por incendios, esporas, granos de polen, etc.	Emigración/ dispersión	Desplazamiento permanente fuera de un área por parte de una población; dispersión de semillas.
Inmigración/ dispersión	Llegada de nuevos individuos a un hábitat o población; dispersión de semillas	Liberación de gases a la atmósfera	Gases formados en un cuerpo de agua con materia orgánica en descomposición.
Fijación de nitrógeno	Transformación del nitrógeno atmosférico por las bacterias del suelo, en otras formas químicas que puedan ser utilizadas por los organismos.	Erosión	Erosión de suelo y rocas
Liberación de sales	Liberación de sales minerales por intemperismo y degradación de la roca madre.	Extracción o cosecha	Extracción por seres humanos de suelo, agua, animales, plantas, hongos, etc.
Contaminación	Entrada de materia o energía en un ecosistema, cuya concentración normal aumenta causando desequilibrio en la estructura y función del ecosistema afectado. Como ejemplo se tiene la fertilización del suelo, aplicación de plaguicidas y la disposición de residuos sólidos.		

Elaborado a partir de Valverde et. al., 2005.

Bioacumulación o intensificación

Un organismo individual puede absorber directamente una sustancia química, por ejemplo, el mercurio que pasa del agua al fitoplancton a través de la pared celular o a los peces a través de las agallas, a este fenómeno se le llama **bioconcentración**. En una cadena trófica puede ocurrir el proceso de **bioacumulación**, que sucede cuando existen pequeñas cantidades de sustancias tóxicas en los productores primarios, debido a la contaminación causada por la actividad humana. Dicha sustancia puede actuar como sustituto de un elemento necesario, por ejemplo, el estroncio radiactivo en sustitución del calcio, o bien, puede ser una sustancia que no puede ser

excretada, como es el caso de los metales pesados, entonces la sustancia puede pasar a los niveles tróficos superiores e intensificar su efecto (figura 4.8).

La bioacumulación es pues la acumulación de sustancias químicas por exposición a agua contaminada (bioconcentración) e ingesta de comida contaminada. Por ejemplo, la bioconcentración de plancton contaminado produce bioacumulación en el nivel trófico siguiente, los peces.

Se denomina **factor de bioconcentración** al cociente de la concentración del compuesto de interés en el organismo entre su concentración en el medio que lo rodea (generalmente aire o agua), considerando solamente cuando lo ingiere directamente de dicho medio. El factor de bioconcentración (FBC) mide la tendencia de una sustancia a acumularse en el tejido adiposo y sirve para relacionar las concentraciones de contaminantes en la columna de agua, con las que hay en los peces, con la siguiente ecuación:

$$Concentración\ en\ el\ pez = (concentración\ en\ el\ agua) \times FBC$$

Para evaluar el riesgo de un compuesto en una especie dada se emplean factores de bioconcentración en los cálculos (tabla 4.4)

Tabla 4.4. Factores de bioconcentración (FBC) para algunas sustancias químicas

Sustancias químicas	FBC (L/kg)
Aldrina	28
Arsénico y compuestos	44
Benceno	5.2
Cadmio y compuestos	81
Clordano	14000
Cloroformo	3.75
Cromo III, VI y compuestos	16
Cobre	200
DDE	51000
DDT	54000
1.1 Dicloroetileno	5.6
Dieldrina	4760
Formaldehído	0
Heptacloro	15700
Hexacloroetano	87
Níquel y compuestos	47
Bifenilos policlorados (PCBs)	100000
2, 3, 7, 8-TCDD (dioxina)	5000
Tetracloroetileno	31
Tetracloruro de carbono	19
1, 1, 1-Tricloroetano	5.6
Tricloroetileno TCE	10.6
Cloruro de vinilo	1.17

Fuente: (G. & P., 2008)

Problema resuelto 4.3 Bioconcentración de sustancia en peces de un lago

El tricloroetileno (TCE) es una sustancia química de síntesis que se presenta en forma de líquido incoloro, ininflamable, de aroma y sabor dulce. Se usa principalmente como solvente para eliminar grasa de partes metálicas y quitamanchas. Se emplea en medicina como anestésico general. No se produce de forma natural en el medio ambiente; sin embargo, se ha encontrado en aguas subterráneas y superficiales como residuo acumulado de la actividad humana de su manufactura, uso y disposición. Produce depresión del sistema nervioso central, además de daño cardíaco, hepático y renal. Puede provocar la muerte por fibrilación ventricular, que se favorece en presencia de epinefrina. La intoxicación puede ser por vía oral, inhalatoria o por absorción cutánea.

Supóngase que un individuo consume 6.5 g/día de peces de un lago contaminado con tricloroetileno (TCE). El agua del lago tiene una concentración de TCE de 0.1mg/l. ¿Cuál es la concentración esperada de TCE en los peces?

Solución

De la tabla 4.4, el factor de bioconcentración del TCE es 10.6 l/kg, de ahí que la concentración esperada en los peces, de acuerdo con la ecuación 4.1, es:

$$Concentración = 0.01\left(\frac{mg}{l}\right) \times 10.6\left(\frac{l}{kg}\right) = 1.06\left(\frac{mg\ de\ TCE}{kg\ de\ pez}\right)$$

El mercurio y el plomo están entre los elementos que pueden ser peligrosos para los organismos. La cuantificación apropiada del mercurio en los sistemas ambientales puede reducir el riesgo de intensificación o los efectos de derrames debidos a accidentes industriales. A mediados del siglo pasado se pensaba que el mercurio inorgánico no era tóxico si se descargaba directamente en el fondo de los cuerpos de agua. Sin embargo, el mercurio se combina con el metano formado en las zonas anaerobias de sedimentos del fondo, formando mercurio de metilo, el cual queda disponible a ciertas formas de vida animal.

Recuadro 4.5
Enfermedad de Minamata

En Japón, durante la década de 1950 una planta de acetaldehído comenzó a verter metales pesados en la bahía, lo que provocó el envenenamiento de la fauna acuática local. Al finalizar los años cincuenta, los habitantes cercanos a la Bahía de Minamata ingerían cangrejos y pescado que contenían hasta 25 ppm de mercurio. Como consecuencia, muchos habitantes se vieron afectados por una enfermedad extraña que debilitaba los músculos.

La enfermedad de Minamata es un síndrome neurológico grave y permanente causado por un envenenamiento por mercurio, los síntomas incluyen ataxia, alteración sensorial en manos y pies, deterioro de los sentidos de la vista y el oído, debilidad y, en casos extremos, parálisis y muerte. En los riñones de las personas que fallecieron se encontró que contenían hasta 144 ppm de mercurio. El envenenamiento por metilmercurio se detectó en 1956, año en el que murieron 46 personas. Las mascotas y los pájaros del lugar mostraron síntomas parecidos.

Entre 1953 y 1965 se contabilizaron 111 víctimas y más de 400 personas con problemas neurológicos. Algunas madres que no presentaban ningún síntoma dieron a luz bebés gravemente afectados.

En 1968, el gobierno japonés anunció oficialmente que la causa de la enfermedad era la ingestión de pescado y de marisco contaminado con mercurio debido a los vertidos de la empresa petroquímica Chisso. Se estima que entre 1932 y 1968, año en que se cambió el proceso de síntesis por otro menos contaminante, se vertieron a la bahía 81 toneladas de mercurio.

Según información del Ministerio de Medio Ambiente de Japón, hasta finales de mayo del 2013 el número total de pacientes certicados era de 2.977, de los cuales 646 seguían con vida. La empresa responsable de los vertidos continúa pagando grandes sumas de dinero en indemnizaciones, mientras que el gobierno de Japón sigue implementando medidas para mitigar las secuelas de esta contaminación, como subsidio continuo de gastos médicos a las víctimas, indemnización basada en un acuerdo para víctimas certicadas según normativa específica, etc.

Fuente: Informe El Convenio de Minamata sobre el Mercurio y su implementación en la región de América Latina y el Caribe. Centro Coordinador Convenio Basilea-Centro Regional Convenio de Estocolmo para América Latina y el Caribe (CCCB/CRCE), ubicado en Montevideo, Uruguay. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente / Oficina Regional para América Latina y el Caribe (PNUMA/ORPALC). Abril 2014.

Como se estudió en el Capítulo 3, para ayudar a definir los posibles problemas para la población humana, se recurre a balances de masa de sustancias tóxicas. Los ingenieros pueden medir uno o más parámetros de un ecosistema y a partir de ellos estimar los parámetros en otras partes mediante balances de masa y energía, como se muestra en el problema resuelto 4.1.

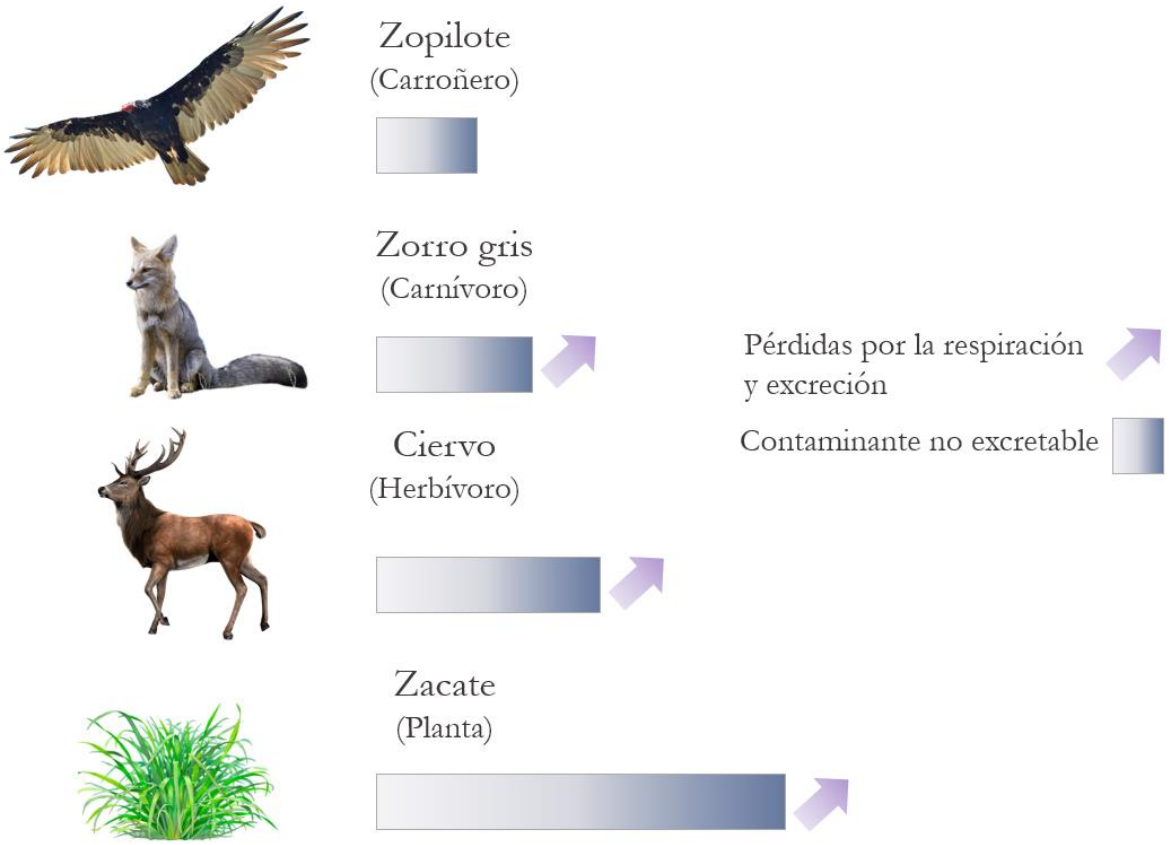


Figura 4.8. Incremento de la concentración de un contaminante difícil de excretar a lo largo de una pirámide trófica. Fuente: (C. & A., 2002)

Actividad 4.3
Convención Minamata sobre el mercurio
A partir del video
https://youtu.be/ZlWtGpiYJvE
Desarrollar las actividades propuestas

Recuadro 4.6
Efectos de la intensificación en la pirámide trófica

Una **pirámide trófica** es una gráfica formada por rectángulos horizontales superpuestos que representan los niveles tróficos de un ecosistema. Tiene forma de pirámide por el hecho de que las abundancias relativas, la productividad y la biomasa de los organismos disminuyen hacia niveles tróficos superiores.

El mercurio, el plomo e insecticidas clorados como el DDT, entre otros contaminantes, pueden concentrarse en los tejidos de los animales, y no ser excretados. Estas sustancias se acumulan en la pirámide trófica debido a que se degradan con lentitud. Si los herbívoros consumen constantemente plantas contaminadas con dichas sustancias, no obstante que su concentración sea baja, el resultado será que la concentración se incrementará poco a poco en sus tejidos; los depredadores de esos animales (carnívoros) incrementarán aún más la concentración, mientras que los animales carroñeros, que consumen tanto herbívoros como carnívoros, tendrán las concentraciones tisulares más altas.

Se considera a este proceso la causa de la destrucción de aves de rapiña y carroñeras en México, ya que los insecticidas clorados les afectan al poner huevos sin la resistencia suficiente para ser empollados sin quebrarse. Este sólo hecho causa la alteración de toda la pirámide trófica, por ejemplo, proliferando los roedores.

Problema resuelto 4.4 Acumulación de plomo en la biomasa

Mediante una alcantarilla pluvial se descarga en un estanque plomo en forma disuelta y suspendida. La forma suspendida se sedimenta y no está disponible para los organismos, pero la forma disuelta sí. Despreciando la contribución de la atmósfera – es decir, las fuentes son nulas- y asumiendo que la masa de plomo liberada del lodo del fondo es 10% por año de la carga anual de plomo suspendido, ¿cuál es la acumulación anual de plomo en la biomasa? El escurrimiento pluvial anual es 10^8 litros de agua con una concentración promedio de plomo de 0.25 mg/l del cual 20% está en forma disuelta. Supóngase que no hay salidas de agua del lago y que no se permite la pesca.

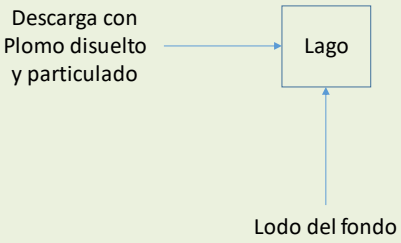


Figura P4.1

Solución

Del principio de conservación de la masa, podemos reescribir la ecuación (3.6), en la que para este problema el término *Fuentes* es despreciable:

$$\textit{Acumulación} = \textit{Ingreso de flujos} - \textit{Egreso de flujos} \pm \textit{Fuentes}$$

$$Acumulación = Pb\ disuelto + Pb\ particualdo\ reciclado - Salidas$$

$$Acumulación = 10^8 \frac{l}{año}(0.20)\left(0.25\frac{mg}{l}\right) + 10^8(1-0.20)(0.10)(0.25) - 0$$

$$Acumulación = 10^8(0.25)\big(0.20 + 0.80(0.10)\big) - 0$$

$$Acumulación = 0.25(10^8)(0.28) = 7x10^6\frac{mg}{año}$$

Problema resuelto 4.5 Acumulación de mercurio en la biomasa

Una entrada principal de mercurio a un lago proviene de una industria localizada en la orilla. La industria recupera 80% del mercurio de su efluente. La cantidad remanente se sedimenta en el lago. La industria recupera 10^4 kg de mercurio al año. Si otras fuentes de mercurio hacia el lago aportan 10^2 kg de mercurio al año:

a) ¿Con qué porcentaje del total contribuye la industria?

b) Explique ¿cómo podría estar disponible el mercurio para su ingesta por los humanos?

Solución

a) Del total de mercurio, la industria recupera 80% = 10^4 kg/año, por lo que el remanente (20%) es:

$$(10^4 kg)\frac{(0.20)}{0.8} = 2500\ kg\ al\ año$$

Otras fuentes aportan 10^2 kg al año, por lo que el total sería 2500+100=2100 kg al año y el porcentaje con el que contribuye la industria es 2000/2100= 0.95 o 95%.

b) El mercurio podría estar disponible a través de la ingesta de peces capturados en el lago, o a través de agua de bebida.



Foto 4.13. Se considera a la intensificación como causante de la destrucción drástica de aves de rapiña y carroñeras en el territorio nacional, ya que los insecticidas clorados les afectan en su oviposición. Zopilote Rey (*Sarcoramphus papa*). Fuente: Miguel Ángel Sicilia Manzo, Banco de imágenes CONABIO.

4.5 Ciclos de nutrientes

En ecología se denomina **producción** a la cantidad de energía producida por un individuo, población o comunidad en una unidad de tiempo. Cuando dicha producción se refiere a la de las plantas verdes a lo largo del tiempo, se trata de la **producción primaria**, ésta requiere que las plantas absorban un conjunto de nutrientes minerales esenciales (inorgánicos) y que los incorporen a los tejidos vivos. La fuente de esos nutrientes esenciales es el bióxido de carbono de la atmósfera, en el caso del carbono, y la meteorización de rocas y minerales en otros casos que se tratan en este subcapítulo. Los nutrientes que las plantas absorben del suelo o del agua se mueven siguiendo la cadena trófica, son almacenados en forma orgánica en los tejidos vivos y cuando esos tejidos llegan a la senectud, los nutrientes vuelven en forma de materia orgánica muerta al suelo o a los sedimentos de los ecosistemas acuáticos, y a partir de allí continúan a través de la cadena trófica de los descomponedores. A diferencia del carbono, la mayoría de los nutrientes se reciclan dentro del ecosistema. Varios descomponedores microbianos transforman los nutrientes orgánicos en alguna forma mineral, y los nutrientes quedan nuevamente disponibles para que las plantas los absorban y los incorporen a nuevos tejidos vegetales. Este proceso se denomina **circulación interna** y es una característica esencial de todos los ecosistemas.

En los subcapítulos anteriores se describió, a partir de la figura 4.3, la circulación interna de nutrientes en el ecosistema, llevada a cabo por los procesos que acumulan energía en la biomasa vegetal (producción neta primaria) y de descomposición. Los procesos biológicos son la causa de esta circulación interna, pero los seres vivos no son los únicos responsables de todas las

transformaciones de elementos, sino que en los componentes abióticos del ecosistema (agua, suelo, roca madre y atmósfera) ocurren muchas de las reacciones químicas.

Para cuantificar los flujos de los nutrientes ya sea en un ecosistema o a escala global se empieza por definir los **compartimientos** en los que hay nutrientes. Un compartimiento es un espacio determinado dentro del ambiente que contiene una cantidad o reserva de nutrientes. Por ejemplo, supóngase un bosque en el que se desea representar el ciclo del calcio (Ca), los compartimientos de este ecosistema son: plantas, suelo y materia orgánica muerta. El compartimiento de las plantas está constituido por diferentes formas de crecimiento vegetal (árboles, arbustos y herbáceas) y tipos de tejido (hojas, tallos y raíces). Entre los tres compartimientos se producen intercambios o **flujos de nutrientes** como consecuencia de diversos procesos, por ejemplo: el flujo entre el compartimiento del suelo y el compartimiento de las plantas se debe al proceso de absorción e incorporación de calcio inorgánico del suelo a los tejidos vegetales; el flujo entre el compartimiento de las plantas y el compartimiento de la materia orgánica muerta es consecuencia del proceso de retorno del calcio debido a la caída de las hojas (tejido vegetal en senectud); el flujo entre el compartimiento de las plantas y el compartimiento del suelo es causado por el proceso de pérdida de calcio de las plantas hacia el suelo; y entre el compartimiento de la materia orgánica muerta y el compartimiento del suelo el flujo es consecuencia del proceso de descomposición, cuando se presenta la mineralización neta de calcio.

Para medir el movimiento de los nutrientes de uno a otro compartimiento se emplea el **flujo de transferencia** (f), que es la cantidad de nutrientes que pasa de un reservorio al otro por unidad de tiempo (kg/ha/año). La **reserva de nutrientes** (P) (kg/ha) de un compartimiento y el flujo de transferencia determinan la circulación de nutrientes, los flujos pueden ser hacia dentro (entradas) y hacia fuera (salidas) del compartimiento. Si la suma de entradas excede a la suma de salidas de un compartimiento, se incrementará la reserva de nutrientes. Por el contrario, si la suma de entradas es menor que la suma de salidas del compartimiento, la reserva se reducirá. Pero si la suma de entradas es igual a la suma de salidas, la reserva permanece constante, condición denominada **estado estacionario**.

Las moléculas de los diferentes nutrientes presentan un estado de flujo constante, moviéndose entre los compartimientos debido a diversos procesos biológicos y físicos. El tiempo que permanece una molécula de fósforo, calcio o nitrógeno en un compartimiento determinado se conoce como **tasa media de renovación** (T). Bajo condiciones de estado estacionario, se tiene:

$$T = \frac{P}{f} \qquad (4.1)$$

en donde:

T = tasa media de renovación (año)
P = reserva (kg/ha)
F = flujo de transferencia (kg/ha/año)

Problema resuelto 4.6 Ciclos de nutrientes: cuantificación

La figura P4.3 muestra la representación simple del ciclo del calcio en un ecosistema de bosque en estado estacionario, en el que las entradas y salidas de cada compartimiento son iguales.

1. Calcular la tasa media de renovación del calcio en el compartimiento de la materia orgánica muerta.

2. Calcular la tasa media de renovación del calcio en el suelo.

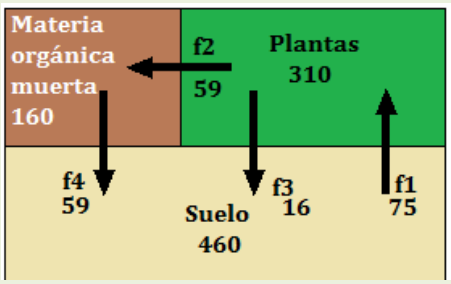


Figura P4.3. Representación simple del ciclo del calcio en un ecosistema de bosque.

Solución

En la figura P4.3 el ecosistema está representado por tres compartimientos: plantas, suelo y materia orgánica muerta. La reserva para cada compartimiento está en unidades de kg/ha. El flujo de transferencia está representado por flechas que atraviesan los compartimientos, en unidades de kg/ha/año. Los procesos representados por los diferentes flujos son los siguientes: f_1, absorción de la planta; f_2, caída de hojas; f_3, filtraciones de las plantas; y f_4, mineralización neta durante la descomposición.

1. La tasa media de renovación del calcio en el compartimiento de la materia orgánica muerta, de acuerdo con la ecuación 4.1, es:

$$T = \frac{160\,\frac{kg}{ha}}{59\,\frac{kg}{ha}/\text{año}} = 2.71\ años\ aproximadamente$$

2. Por otra parte, la tasa media de renovación del calcio en el compartimiento del suelo, de acuerdo con la ecuación 4.1, es:

$$T = \frac{460\,\frac{kg}{ha}}{75\,\frac{kg}{ha}/\text{año}} = 6.13\ años\ aproximadamente$$

Se conoce como **ciclo biogeoquímico** a la ruta que siguen los nutrientes en el ecosistema, desde los componentes abióticos a los bióticos y de éstos de nuevo a los abióticos. En este subcapítulo se examinan algunos de los ciclos biogeoquímicos más importantes.

Considerando la fuente primaria de entrada de nutrientes al ecosistema, hay dos tipos de ciclos biogeoquímicos: gaseosos y sedimentarios. La atmósfera y los océanos son la fuente de nutrientes en los **ciclos gaseosos**, éstos son claramente globales. Los gases más importantes para la vida son el nitrógeno, el oxígeno y el bióxido de carbono, que son los componentes dominantes de la atmósfera terrestre.

En los **ciclos sedimentarios** el suelo, las rocas y los minerales son las fuentes inorgánicas principales de nutrientes, de ellas provienen los elementos minerales que los organismos vivos necesitan. Las sales disueltas en el agua del suelo o de lagos, arroyos y mares son las formas disponibles. Aunque varía dependiendo del elemento, el ciclo mineral tiene una fase rocosa y otra de solución salina. Las sales minerales provienen de la corteza terrestre a través de la erosión, ya disueltas se integran al ciclo hidrológico y se mueven con el agua a través del suelo hacia los arroyos, lagos y finalmente llegan a los mares, donde se quedan por tiempo indefinido. Otras sales vuelven a la corteza terrestre a través de la sedimentación. Se incorporan como depósito de sal, limo y roca caliza. Cuando se erosionan se incorporan otra vez al ciclo.

Los ciclos gaseosos del carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno se consideran casi "perfectos", ya que al estar en circulación permanecen siempre accesibles a los seres vivos. En cambio, los ciclos sedimentarios como el del fósforo se consideran "imperfectos" debido a que sus elementos constitutivos se depositan en forma de rocas a partir de las cuales la recirculación es muy lenta.

Sin el ciclo hidrológico, cesarían los ciclos biogeoquímicos, ya que el agua es el medio que moviliza a los elementos y materiales en el ecosistema.

En la figura 4.9 se observa que todos los ciclos biogeoquímicos poseen una estructura en común y comparten tres componentes básicos: entradas, circulación interna y salidas. Los ciclos biogeoquímicos que se explican en este capítulo son los del carbono, nitrógeno y fósforo.

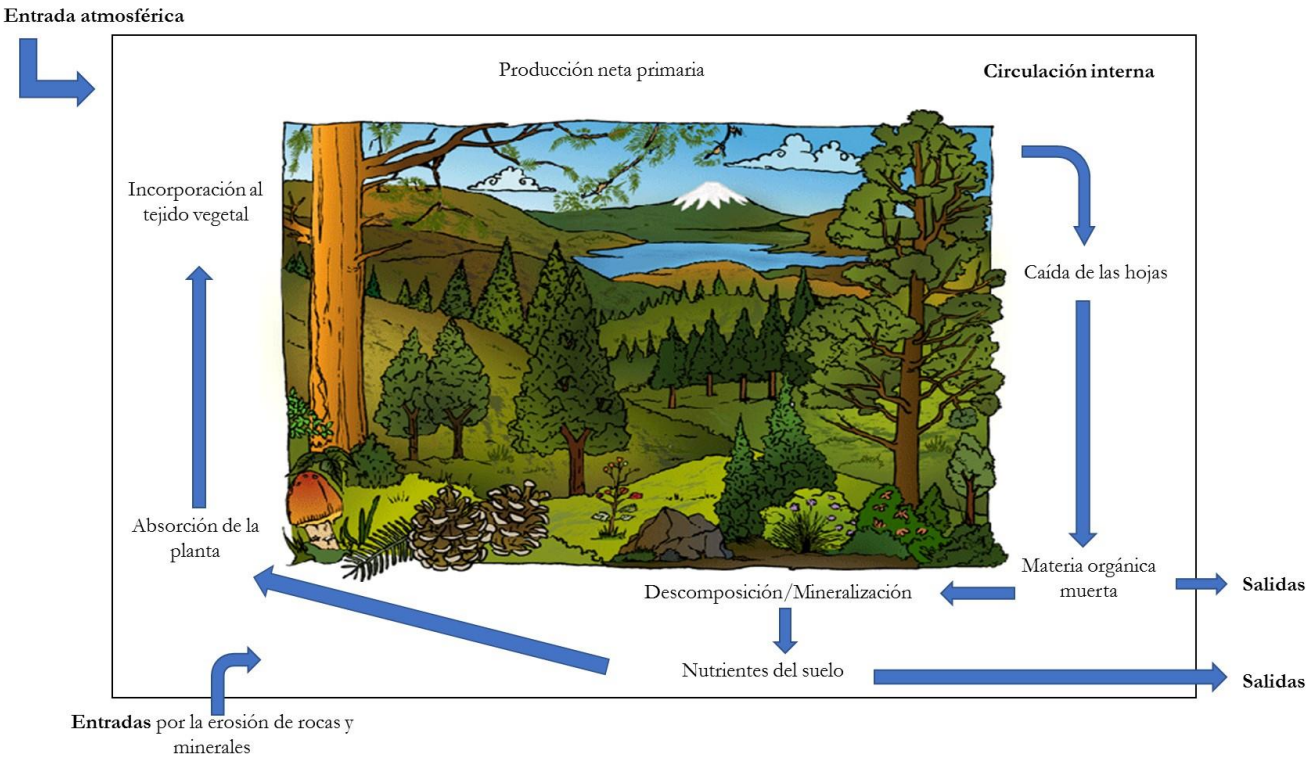


Figura 4.9. Componentes más comunes de las entradas, la circulación interna y las salidas de un ciclo biogeoquímico generalizado.

Ciclo del carbono

El carbono sirve a los organismos porque es un componente estructural de las moléculas orgánicas; además, los enlaces de energía química que forma constituyen un "almacenamiento" de energía.

La fuente principal del carbono es el bióxido de carbono (CO_2) disuelto en el agua y presente en la atmósfera. En el proceso de fotosíntesis se remueve el carbono del CO_2 y se incorpora con otros elementos químicos en moléculas orgánicas complejas (carbohidratos). El CO_2 encuentra su camino de regreso a la atmósfera cuando las moléculas orgánicas se rompen durante la respiración (figura 4.10).

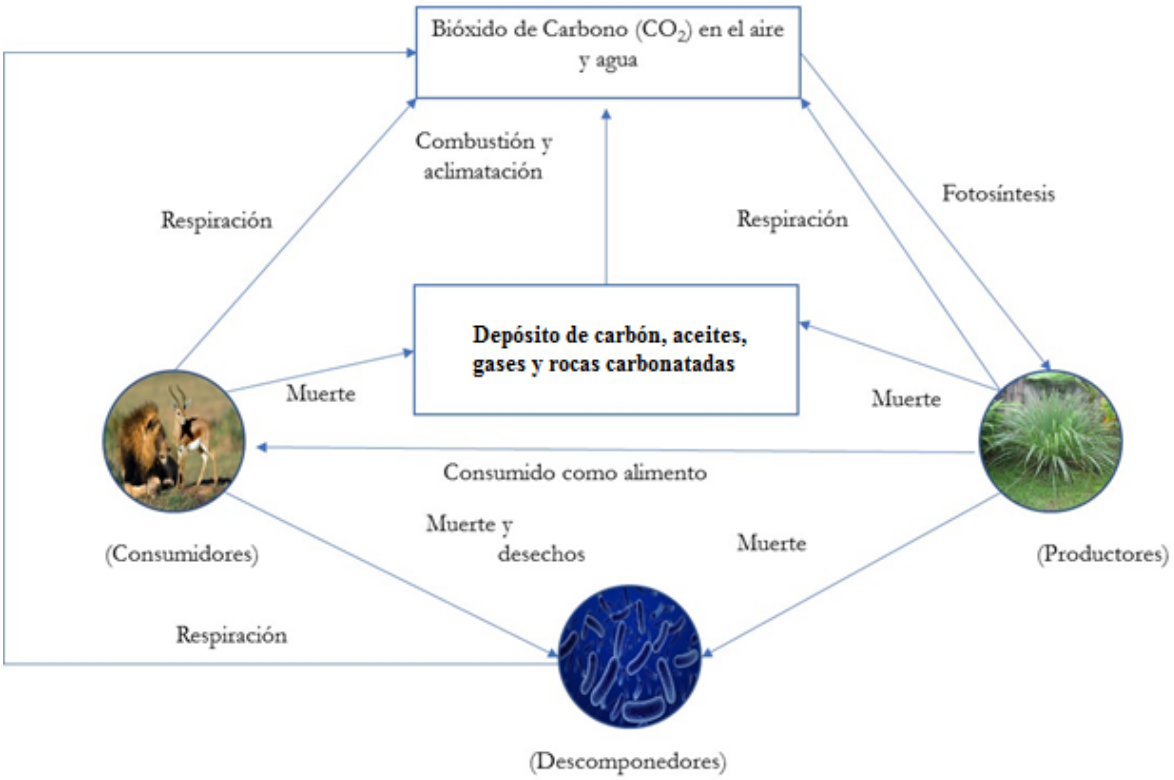


Figura 4.10. Ciclo del carbono simplificado. Las flechas muestran las diferentes direcciones de transferencia de carbono a través de la biosfera

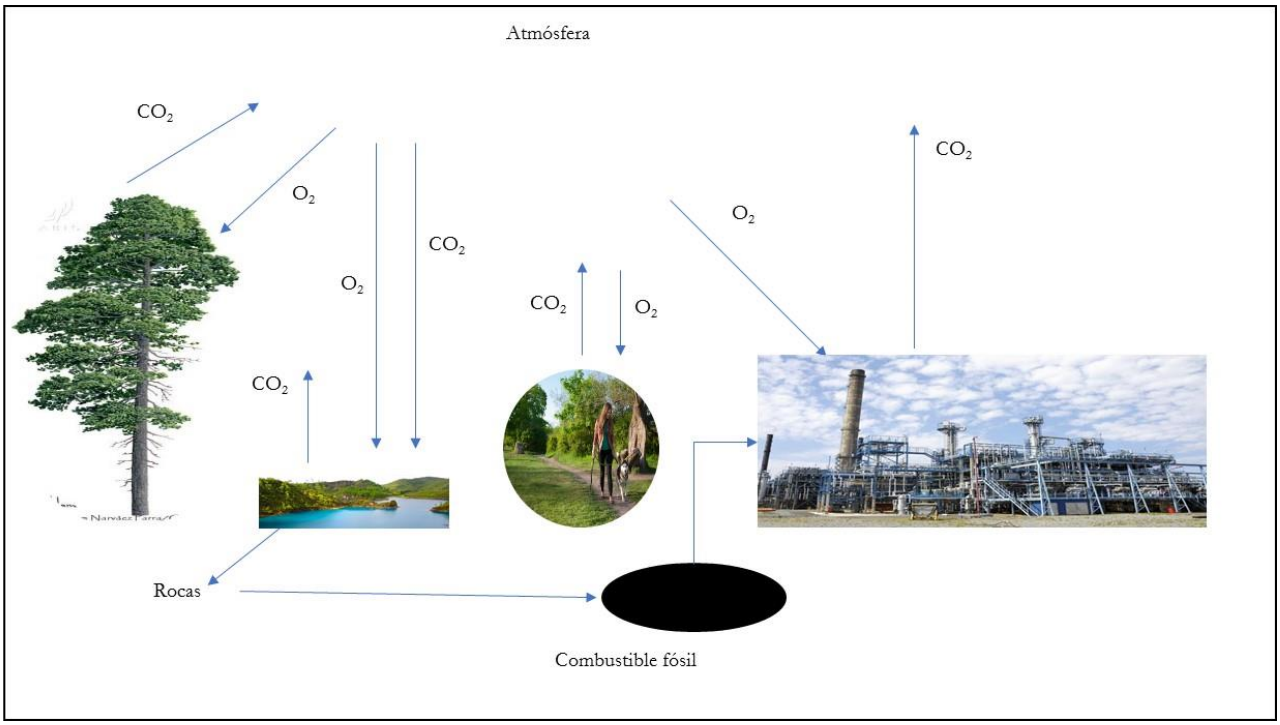


Figura 4.11. Ciclos del carbono y oxígeno.

Los ciclos del carbono y oxígeno están estrechamente relacionados (figura 4.11). En el subcapítulo 4.3 se expresó que en la fotosíntesis el carbono, hidrógeno y oxígeno contenidos en el CO_2 y H_2O, son convertidos por las plantas verdes en moléculas orgánicas complejas. Estas moléculas son transferidas a través de la cadena trófica y proporcionan energía y material para todas las formas de vida. Por su parte, la respiración consiste en el proceso celular de oxidación de alimento para aprovechar energía. En cada paso de la cadena trófica, se retornan al ambiente tanto energía como materiales de desecho. En algún momento, los descomponedores desintegran el material de desecho en bióxido de carbono, agua y otras moléculas simples. Al paso del tiempo una fracción pequeña del carbono, hidrógeno y oxígeno se incorpora en combustibles fósiles, pero este proceso tarda muchos siglos en ocurrir, por lo que se considera que los combustibles fósiles son no renovables.

En la atmósfera se encuentra el carbono como bióxido de carbono, este gas se forma en la combustión y en la respiración. Se forman carbonatos en el agua al disolverse el bióxido de carbono. Con el tiempo, algunos de estos carbonatos se transforman en roca caliza o arrecifes de coral.

Los seres humanos han alterado mucho el ciclo del carbono debido al consumo de combustibles fósiles, la producción en gran escala de ganado y la quema de bosques. Desde el inicio de la Revolución Industrial, en el decenio de 1850, la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado de aproximadamente 280 ppm a 360 ppm en 1999 y hasta 400 ppm en 2015. Los científicos afirman que este aumento de los valores de CO_2 es una de las principales causas del **cambio climático global** (Ver recuadro 4.7).

Recuadro 4.7
Cambio climático

(CO_2) y el ozono (O_3). Estos gases absorben la radiación térmica (de onda larga) emitida por la superficie y la atmósfera terrestre, lo que causa que ésta se caliente y, a su vez, emita radiación térmica; una parte significativa de su energía actúa para calentar la superficie y la capa inferior de la atmósfera. Si la tropósfera no efectuara su función protectora, el planeta estaría unos 30ºC más frío. El fenómeno descrito se conoce como **efecto invernadero**.

Sin embargo, la extracción y combustión del carbono orgánico, que alguna vez estuvo almacenado en las profundidades de la Tierra, empleado como combustible fósil, está incrementando significativamente la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera terrestre. Las concentraciones de bióxido de carbono en la atmósfera son hoy aproximadamente un tercio mayores de lo que fueron en los tiempos preindustriales (Canadell, 2007). Más de la mitad del bióxido de carbono adicional se ha acumulado desde 1960. Una consecuencia grave del enriquecimiento de la atmósfera con bióxido de carbono es el **calentamiento global**. El bióxido de carbono actúa como una barrera a la energía radiante emitida por la superficie de la Tierra. Como resultado, esta energía no puede escapar a la atmósfera superior y es re-radiada de regreso a la Tierra, causando el calentamiento de la superficie y de la atmósfera baja.

El aumento de la temperatura de la atmósfera terrestre incrementa la intensidad de los eventos climáticos extremos (tales como sequías y tormentas tropicales). Buena parte del ambiente físico de la Tierra está determinado fundamentalmente por el clima, incluyendo la distribución del agua y los regímenes naturales de perturbación. El clima afecta el funcionamiento fisiológico de los organismos y de los recursos disponibles para ellos, de ahí que es un factor primario determinante de la distribución geográfica de la biota terrestre. Considerando los posibles escenarios de cambio climático, los científicos anticipan que muchas especies tendrán que emigrar, generalmente hacia latitudes o elevaciones más altas, o evolucionar rápidamente para tolerar las nuevas condiciones ambientales (Loss et al. 2011).

(J. & otros, 2007)
(Loss S.R., Terwilliger L.A., & Peterson A.C., 2011)

Actividad 4.4
Cambio climático y mosquitos
A partir del video
https://youtu.be/X_6Mse4BAig
Desarrollar las actividades propuestas



Foto 4.14. El ciclo del carbono se ha alterado, entre otras causas, debido al consumo de combustibles fósiles. Industria, Monterrey, Nuevo León. Fuente: Carlos Sánchez Pereyra, Banco de imágenes CONABIO.



Foto 4.15. La quema de bosques es otra causa de la alteración del ciclo del carbono. Incendio en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas. Fuente: CONANP, Banco de imágenes CONABIO.

Ciclo del nitrógeno

El 78% de la atmósfera terrestre es gas nitrógeno (N_2), sin embargo, se encuentra en una forma que no es asimilable por la mayoría de las plantas y animales. Por otra parte, el nitrógeno es un importante componente de las proteínas y éstas, a su vez, de todo tejido vivo, por consiguiente, es necesario tanto para las plantas como para los animales. ¿Cómo ha resuelto la naturaleza esta paradoja? El ciclo del nitrógeno (figura 4.12) proporciona los puentes entre el depósito atmosférico y la comunidad biológica. Las formas más comunes del nitrógeno del suelo (denominado nitrógeno fijo) disponible para las plantas, son el ion nitrito (NO_2^-), el ion nitrato (NO_3^-) y el amoniaco (NH_3) o su forma más ácida, el ion amonio (NH_4^+). El nitrógeno fijo es asimilado por las plantas y pasa luego a la cadena trófica. Los puentes entre el depósito atmosférico y la comunidad biológica son 3 y su importancia relativa varía entre los distintos ecosistemas:

a) Deposición atmosférica
b) Fijación de alta energía
c) Fijación biológica

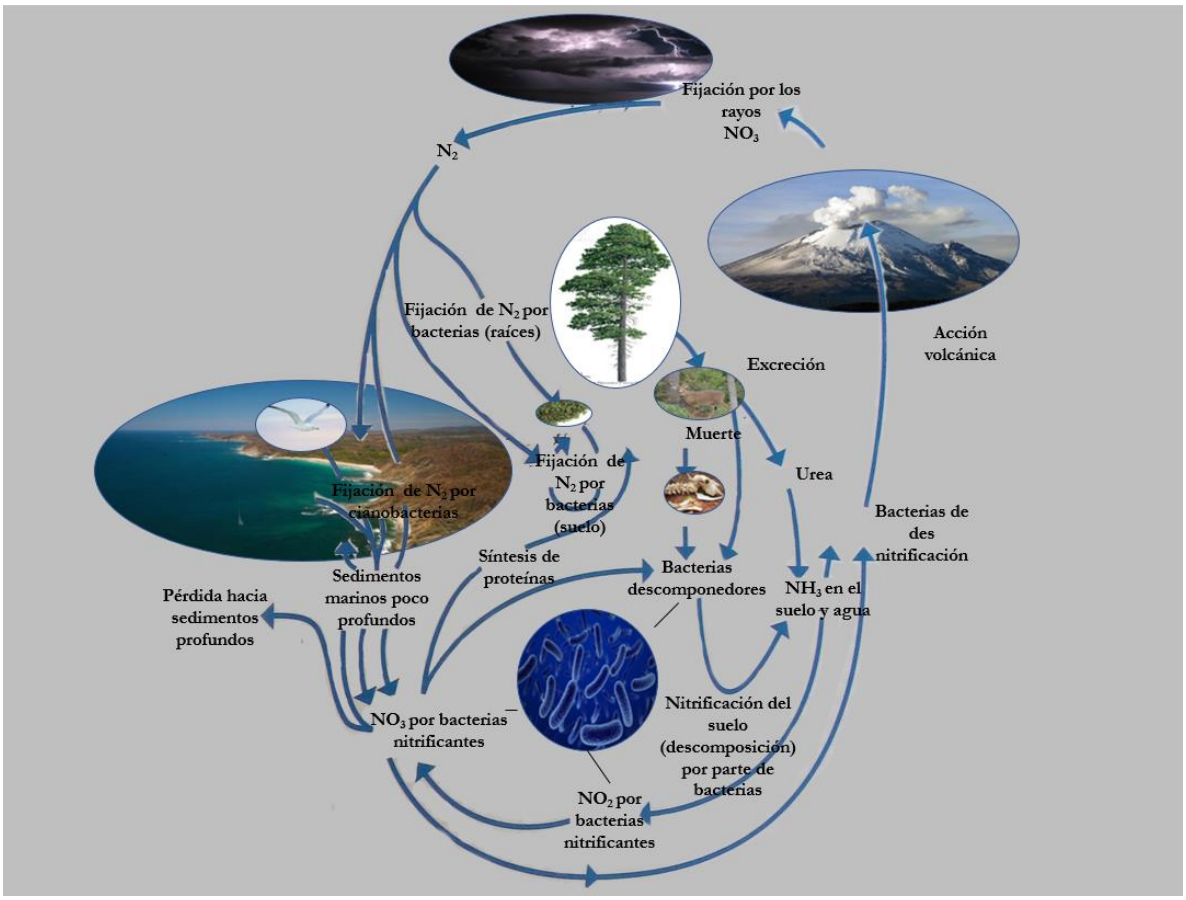


Figura 4.12. El ciclo del nitrógeno

Deposición atmosférica

La deposición puede ser húmeda o seca. La deposición húmeda incluye la lluvia, la nieve o gotas provenientes de las nubes y la niebla. La deposición seca incluye los aerosoles y las partículas. Cualquiera que sea el tipo de deposición atmosférica, suministra el nitrógeno para que los vegetales lo absorban.

Fijación de alta energía

Se requiere alta energía en la atmósfera para combinar el nitrógeno con el oxígeno y el hidrógeno del agua. La radiación cósmica, la estela de los meteoritos y los rayos de una tormenta proporcionan la alta energía. La lluvia transporta el amonio y los nitratos resultantes hacia la superficie de la Tierra. Se estima que la fijación de alta energía en la superficie de la Tierra aporta aproximadamente 0.4 kg N/ha al año, dos tercios en forma de amonio y un tercio como ácido nítrico (HNO_3).

Fijación biológica

Se estima que la fijación biológica aporta 10 kg N/año por cada hectárea de superficie de la Tierra, aproximadamente 90% del nitrógeno fijo que se crea cada año. La fijación consiste en la división del nitrógeno molecular (N_2) en dos átomos de nitrógeno libre; estos átomos se combinan con hidrógeno y forman dos moléculas de amonio (NH_3). El proceso de fijación lo llevan a cabo las bacterias simbióticas[19] que viven en asociación mutualista con las plantas, las bacterias aerobias libres y las cianobacterias (algas verdeazuladas). Para fijar 1 g de nitrógeno se requiere una cantidad de energía considerable, las bacterias fijadoras de nitrógeno asociadas con el sistema de la raíz de la planta deben consumir alrededor de 10 g de glucosa, un azúcar simple producido por los vegetales en la fotosíntesis.

Las principales bacterias fijadoras de nitrógeno en los ecosistemas agrícolas se llaman *Rhizobium*, están asociadas a aproximadamente 200 especies de plantas leguminosas. En los ecosistemas no agrícolas, las responsables de fijar el nitrógeno son alrededor de 12 000 especies, desde las cianobacterias hasta las plantas con nódulos radicales. El *Azotobacter* aerobio y el *Clostridium* anaerobio destacan entre los 15 géneros de bacterias libres del suelo, que también contribuyen a la fijación. Otro grupo importante de fijadores de nitrógeno, son las aproximadamente 40 especies conocidas de cianobacterias (algas verde azuladas), en gran parte no simbióticas, las más comunes son las del género *Nostoc* y *Calothrix*, que se encuentran tanto en el suelo como en hábitats acuáticos. *Collema tunaeforme* y *Peltigera rufescens* son líquenes, también involucrados en la fijación del nitrógeno. Como componente algal, los líquenes con capacidad de fijación de nitrógeno poseen cianobacterias fijadoras de nitrógeno.

[19] Simbiosis: situación en la que dos organismos distintos viven juntos en estrecha asociación.

Existen dos vías para que las plantas puedan utilizar directamente el amonio del suelo: el proceso llamado amonificación y la deposición atmosférica. El proceso de amonificación se presenta durante la descomposición microbiana de materia orgánica, cuando se libera NH_3 como desecho y se forma NH_4^+ como producto (figura 4.13). Esto se debe a que la mayoría de los suelos son levemente ácidos, pues tienen un exceso de H^+, convirtiéndose rápidamente el NH_3 en amonio (NH_4^+). Por el contrario, en suelos con pH cercano a 7 (neutro), en los que la concentración de iones H^+ es baja, no se convierte el amoniaco en amonio; en virtud de que el NH_3 es un gas, puede ocurrir la transferencia de nitrógeno hacia la atmósfera (volatilización). En áreas agrícolas la volatilización puede ser intensa, debido al uso de fertilizantes de nitrógeno y de la cal aplicada para reducir la acidez del suelo.

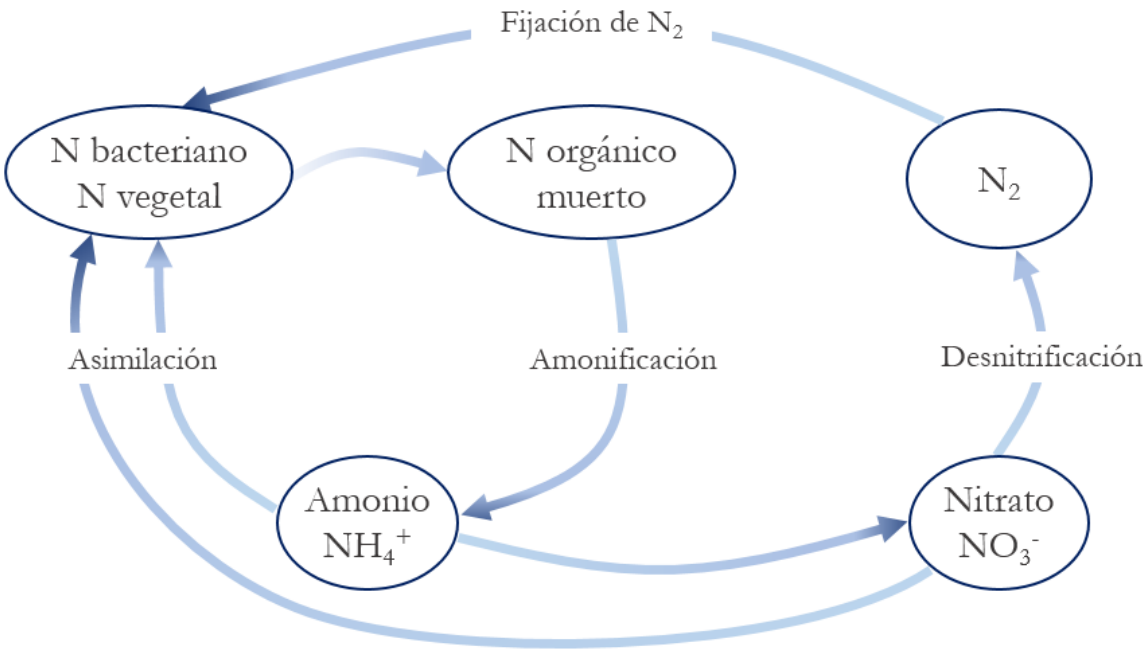


Figura 4.13. Funcionamiento de procesos bacterianos en el ciclo del nitrógeno

Las raíces de las plantas en algunos ecosistemas compiten por el NH_4^+ con *Nitrosomas* y *Nitrobacter*, dos grupos de bacterias aerobias que lo utilizan como parte de su metabolismo. En el proceso llamado nitrificación, el grupo *Nitrosomas* oxida al NH_4^+ para convertirlo en NO_2^-, mientras que el grupo *Nitrobacter* oxida al nitrito (NO_2^-) para convertirlo en nitrato (NO_3^-). Una vez que se produce el nitrato, las raíces de las plantas lo pueden absorber, o bien, puede ocurrir una desnitrificación en condiciones anaerobias (de falta de oxígeno), cuando otro grupo de bacterias (*Pseudomonas*) reducen químicamente el NO_3^- para convertirlo en NO_2^- y N_2, regresando este gas a la atmósfera. En la mayoría de los ecosistemas terrestres no son comunes las condiciones anaerobias necesarias para la desnitrificación, a menos que sea estacionalmente. Sin embargo, en ecosistemas de humedales y en los sedimentos de ecosistemas acuáticos de aguas abiertas sí son comunes.

La forma más común de nitrógeno exportado desde los ecosistemas terrestres hacia arroyos y ríos, es el nitrato. En ecosistemas no perturbados la cantidad es pequeña a causa de la gran

demanda de nitrógeno. La cantidad de nitrógeno que se recicla dentro del ecosistema es normalmente mucho mayor que la cantidad que ingresa o que egresa del ecosistema debido a las entradas y las salidas.

En virtud de que los procesos de fijación del nitrógeno y el de nitrificación son llevados a cabo por bacterias, existen muchas condiciones ambientales que tienen influencia, entre ellas la temperatura, la humedad y el pH del suelo (que es uno de los factores más importantes). Ambos procesos se encuentran normalmente muy limitados en los suelos extremadamente ácidos debido a la inhibición de las bacterias bajo estas condiciones.

Las entradas de nitrógeno pueden variar, no obstante, el ciclo interno del nitrógeno es bastante similar entre los distintos ecosistemas. Implica la asimilación de amonio y nitrato por parte de las plantas y el regreso del nitrógeno hacia el suelo, los sedimentos y el agua por medio de la descomposición de la materia orgánica muerta.

Ciclo del fósforo

El fósforo es un importante elemento de los ácidos nucleicos (ADN, ARN) y parte principal de los huesos. Dado que en la atmósfera el fósforo existe en cantidades muy pequeñas, el ciclo del fósforo es sedimentario, es decir, las rocas y depósitos naturales de fosfato son las reservas de fósforo más importantes (figura 4.14). El fósforo está disponible en los ecosistemas terrestres debido a la meteorización, la lixiviación, la erosión y la extracción para la producción industrial y utilización de fertilizantes agrícolas. La meteorización de minerales de fosfato de calcio produce la mayor parte del fósforo que se encuentra en los ecosistemas terrestres. Del fósforo total, una fracción pequeña está disponible para los vegetales en la mayoría de los suelos. Los lagos y mares reciben parte del fósforo disponible proveniente de los ecosistemas terrestres.

A causa del lento arrastre erosivo de materiales hacia el mar, la acumulación de fósforo en los sedimentos de los fondos marinos se compensaría sólo si éstos emergieran por los fenómenos geológicos, esto equivale a una pérdida definitiva del fósforo dada la lentitud de los procesos geológicos que podrían permitir la recuperación de estos materiales. El ciclo es claramente imperfecto, ya que las cantidades arrastradas hacia los fondos marinos han aumentado mucho debido a la producción industrial y empleo de fertilizantes, mientras que los procesos de recuperación para la biosfera no se han acelerado en absoluto.

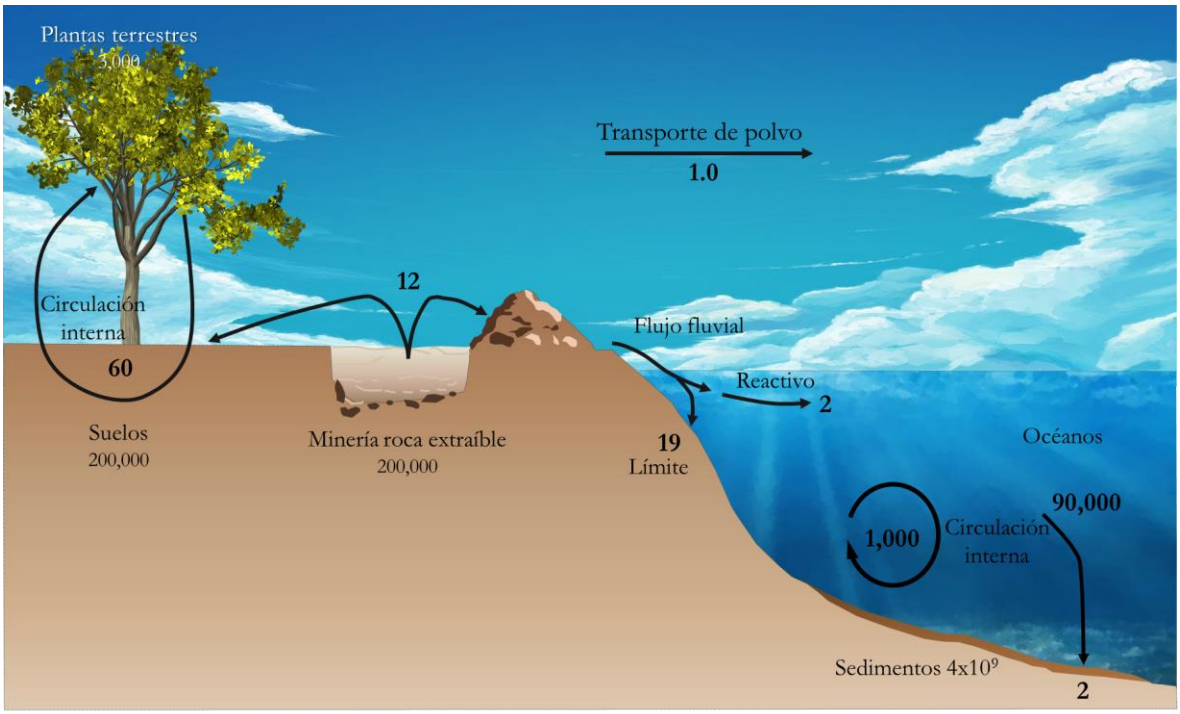


Figura 4.14. El ciclo global del fósforo. Cada flujo se muestra en unidades de 10^{12} g P/año. Fuente: Smith, 2007.

Algunas reflexiones sobre el funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos

La biosfera utiliza los elementos químicos de manera cíclica, pero pueden producirse pérdidas en cada ciclo. Por ejemplo, cuando un elemento pasa a formar parte de compuestos no utilizables directamente y son de difícil transformación, o cuando el elemento se deposita en zonas inalcanzables.

Los ciclos no transcurren a velocidad uniforme, existen etapas que duran más que otras. Las etapas de retardo pueden permitir que se forme una reserva del nutriente que se aprovechará gradualmente. En otros ecosistemas el retardo puede ser de tal magnitud que se considera la pérdida definitiva del elemento. En virtud de lo anterior, es pertinente hablar de ciclo sólo a la escala de la biosfera.

El mantenimiento de la vida en la biosfera depende del funcionamiento casi perfecto de los ciclos de los elementos esenciales, pues si las pérdidas fuesen definitivas no sería posible compensarlas, al no existir entradas externas.

La actividad humana ha afectado los ciclos biogeoquímicos de muchas maneras, por ejemplo, la quema de combustible fósil, produce óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, monóxido de carbono y bióxido de carbono que se emiten a la atmósfera, y se consume oxígeno en la combustión. Los óxidos son contaminantes y el uso de oxígeno es poco, comparado con el reservorio.

Otro ejemplo es el incremento de desechos humanos y animales que ingresan a un cuerpo de agua, elevando los niveles de carbono, nitrógeno y fósforo, lo que a su vez incrementa la productividad y demanda de oxígeno, y con el tiempo puede llevar a una condición adversa al cuerpo de agua debido al crecimiento excesivo de plantas y microorganismos, un proceso denominado **eutrofización**, que se trata en el subcapítulo 4.7. Globalmente, las entradas masivas de fósforo y nitrógeno constituyen un exceso de nutrientes para los ecosistemas de agua dulce y para los de aguas marinas poco profundas. Estas entradas se han incrementado mucho como resultado de actividades humanas, especialmente la agricultura.

Para restaurar los ecosistemas acuáticos dañados por la eutrofización causada por el propio ser humano, es necesario reducir las fuentes de nutrientes considerando toda la cuenca. También debe atenderse el legado de muchas décadas de cuantiosas entradas de nutrientes, especialmente si dichas entradas han llevado al ecosistema a un estado estable alternativo.

4.6 Fundamentos de limnología

Aunque los conceptos fundamentales de la ecología son aplicables tanto a los ecosistemas terrestres como a los acuáticos, en este subcapítulo se abordan algunos aspectos específicos del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

La **limnología** es el estudio de las características físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas de agua dulce, éstos se clasifican en lóticos y lénticos. Los ecosistemas **lóticos** mantienen sus aguas en movimiento continuo, por ejemplo, los ríos, arroyos y cualquier corriente de agua. Los ecosistemas **lénticos** son sistemas lacustres caracterizados por mantener sus aguas estacionarias, con algunos movimientos ocasionales dinamizados por el clima (entre otros factores), e incluyen estanques, lagos y humedales del interior. La ingeniería civil crea enormes embalses al construir presas en los ríos y arroyos para generar electricidad, para riego o almacenamiento de agua.



Foto 4.16. Los ecosistemas lóticos se caracterizan por mantener sus aguas en movimiento continuo. Río Santa María Chimalapa, Oaxaca. Fuente: Miguel Ángel Sicilia Manzo, Banco de imágenes CONABIO.

La distribución de los organismos en los sistemas lóticos está determinada por características fisicoquímicas del agua, como el oxígeno disuelto, las variaciones térmicas y las características de sus sedimentos. Desde su nacimiento hasta llegar a su desembocadura, un río pasa por varias etapas que determinan su velocidad del flujo de agua, ésta origina procesos erosivos que dan a su lecho una configuración variable conforme desciende. La pendiente del cauce y consecuentemente la velocidad de flujo decrecen en un perfil regular. El perfil presenta cambios morfológicos del fondo, que reflejan la disminución de sus propiedades erosivas y de su capacidad de transporte. Así, en las primeras etapas la corriente tiene fuertes pendientes por lo que se observa al agua caer de grandes rocas, lo que le da un alto contenido de oxígeno disuelto, mientras que, en sus etapas finales o maduras, con pendientes suaves se observan arenas y limos finos, así como disminución en el oxígeno disuelto.

En la zona de su nacimiento, los factores abióticos del río que tienen influencia en la distribución biótica, cambian con mayor rapidez que en su zona madura. En virtud de lo anterior, en los primeros kilómetros los cambios de las comunidades de fauna son más pronunciados que en los últimos kilómetros, cercanos a su desembocadura.

Recuadro 4.8
Alteración de las cuencas hidrológicas debida a obras de uso y manejo del agua

La construcción de obras de riego, canales y presas es una forma de alteración de los sistemas lóticos, ya que dichas obras modifican el volumen y regularidad del caudal de los ríos y, en algunos casos, además su trayectoria. Con esto se modifican radicalmente las comunidades naturales que crecen en las orillas o en la corriente de los ríos. Por otra parte, las especies oportunistas e introducidas establecen su hábitat en los embalses de las presas.

En el caso del Río Grijalva, la planicie de inundación era muy amplia, los pantanos, marismas y manglares eran alimentados en la época de lluvias por sus crecidas, formando ambientes poblados por una diversidad de especies de flora y fauna acuática y semiacuática en el estado de Tabasco. En el siglo pasado se inició la construcción de grandes proyectos hidroeléctricos sobre el Río Grijalva: Chicoasén, Malpaso, Raudales y La Angostura. Actualmente, las aguas del río tienen un caudal regular y al ser mínimo el desbordamiento las extensas zonas pantanosas se desecaron, dedicándolas al pastoreo. El resultado fue la desaparición de una porción importante de un área natural de comunidades acuáticas únicas por su extensión y diversidad en el país.

Otros efectos fueron la compactación de los suelos arcillosos de los pantanos y selvas inundables, dando lugar a suelos mucho menos fértiles; se redujo la cantidad de nutrientes a las tierras que antes aportaban las inundaciones, disminuyendo su fertilidad; el nivel freático descendió en muchos lugares, afectando a otros cultivos, como los cacaotales; al disminuir el flujo de agua dulce del río, se introdujo el agua salada del mar, alterando las condiciones ecológicas de las marismas y manglares. Se redujo el hábitat de muchas especies de aves acuáticas, peces, tortugas, anfibios y algunos mamíferos como la nutria y el manatí. Es posible que varias de ellas se encuentren en peligro de extinción.

Con respecto a los sistemas lénticos, la unidad ecológica se considera que es el propio lago y su cuenca hidrológica. La cantidad de agua que entra al lago depende de la intensidad de precipitación, del área de la cuenca, de las características de la vegetación y del tipo de suelo que existe alrededor. Por ejemplo, una cuenca con abundancia de roca granítica, vegetación escasa y suelo poco profundo, podría desaguar rápidamente y llegar al lago poco tiempo después de la precipitación.

Por otra parte, las condiciones de contaminación atmosférica, las características de la vegetación y del suelo, así como el tipo e intensidad de las actividades humanas en la cuenca, influyen en la composición de las aguas que se introducen al lago. Las prácticas agrícolas contribuyen con entradas de nitrógeno, fósforo, materia orgánica y bacterias. Si se realizan actividades mineras, puede incrementarse la concentración de metales en el agua y la acidez, a causa del drenaje ácido de los residuos que se producen, llamados jales. La descarga de aguas residuales, domésticas o

industriales, tiene efectos graves en la calidad del agua debido a su contenido orgánico. Los gases emitidos por establecimientos industriales pueden ser transportados por el viento desde fuentes lejanas, se disuelven en el agua de lluvia y caen sobre la cuenca, llegando al lago.

4.6.1. Organismos en las zonas de los ecosistemas lénticos

Considérese el ecosistema léntico representado en la figura 4.15. En la columna de agua existen organismos suspendidos llamados plancton. El **plancton** se considera como una de las comunidades más heterogéneas en lo referente a su dinámica poblacional y su distribución espacial, sus constituyentes biológicos son las plantas y animales pequeños con capacidad locomotriz mínima que los hace derivar bajo los movimientos de la masa de agua; estos organismos constituyen en número las mayores poblaciones del medio. Las especies vegetales de plancton se denominan **fitoplancton** (autótrofos), algas verdes microscópicas que pertenecen a diferentes grupos, por ejemplo, las algas azules y las desmidiáceas forman grandes poblaciones y pueden causar floraciones de algas que colorean el agua y producen olores y sabores característicos, difíciles de eliminar en las plantas de tratamiento de agua para consumo humano.

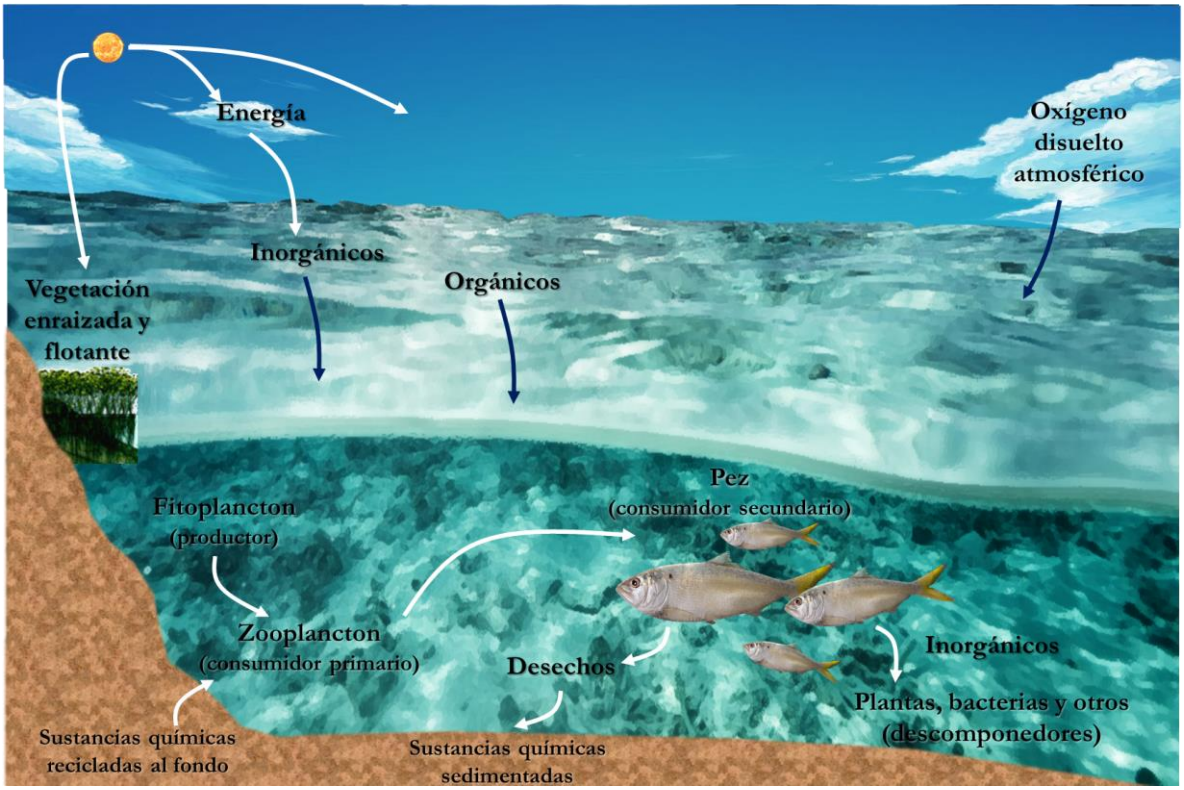


Figura 4.15. Ciclo acuático

Las especies animales de plancton se llaman **zooplancton** (heterótrofos), que incluyen protozoos, copépodos, pequeños crustáceos y rotíferos. La forma de alimentación de muchos de ellos es extrayendo fitoplancton y zooplancton más pequeño (protozoarios), así como materia orgánica muerta y bacterias, de grandes volúmenes de agua que filtran cada día. Existen especies

que flotan mediante gotas de aceite o vejigas de aire. En su mayoría son móviles gracias a que algunos tienen cilios (estructuras vellosas), otros tienen flagelos (similares a látigos) y, en las formas más grandes, patas natatorias. Persiguen a su presa y cambian de posición en la columna de agua, con ello evitan a los depredadores e incrementan al máximo el espacio en que consiguen alimento.

En la cadena trófica, ciertas larvas de insectos y crías de peces se alimentan de fitoplancton y zooplancton. Existe además un grupo de organismos con desplazamiento propio, llamados conjuntamente **necton**, como son los peces, anfibios, mamíferos y algunos reptiles.

A los organismos acuáticos de vida sedentaria que habitan en el fondo se les denomina conjuntamente **bentos**.

En las partes del lago donde el tirante de agua es bajo, se depositan sedimentos en el fondo, en donde se arraigan **macrófitos** (plantas acuáticas grandes) y se establece un hábitat para invertebrados bentónicos que habitan en el lodo y se alimentan de la provisión de alimentos que existe allí. Algunos organismos bentónicos son los gusanos oligoquetos acuáticos, los quironómidos y moluscos bivalvos. Los macrófitos sumergidos y los juncos que emergen del agua constituyen un hábitat para invertebrados y peces, así como una reserva de alimento para aves acuáticas, algas y bacterias.

4.6.2. Características físicas de los ecosistemas lénticos

Considerando la penetración de la luz y la actividad fotosintética, los ecosistemas lénticos pueden dividirse en estratos verticales y zonas horizontales, como se observa en la figura 4.16. La zona de aguas poco profundas que rodea a la mayoría de ecosistemas lénticos, es la **zona litoral**. En dicha zona la luz llega al fondo, favoreciendo el crecimiento de plantas enraizadas. Pasando la litoral está la **zona limnética**, de aguas abiertas, que se extiende en sentido vertical hasta la profundidad efectiva de penetración de la luz, denominada **nivel de compensación**. En esta zona habitan el fitoplancton, el zooplancton y el necton. En sentido vertical, la **zona profunda** está a partir del nivel de compensación, punto en el cual la respiración equilibra la fotosíntesis. El material orgánico de la zona limnética que desciende hasta la profundidad proporciona la energía que requiere la zona profunda. El fondo del lago es la **zona bentónica**, lugar donde ocurre la descomposición principalmente. No obstante que se describan separadamente, en la dinámica de los ecosistemas lénticos estas zonas son muy dependientes entre sí.

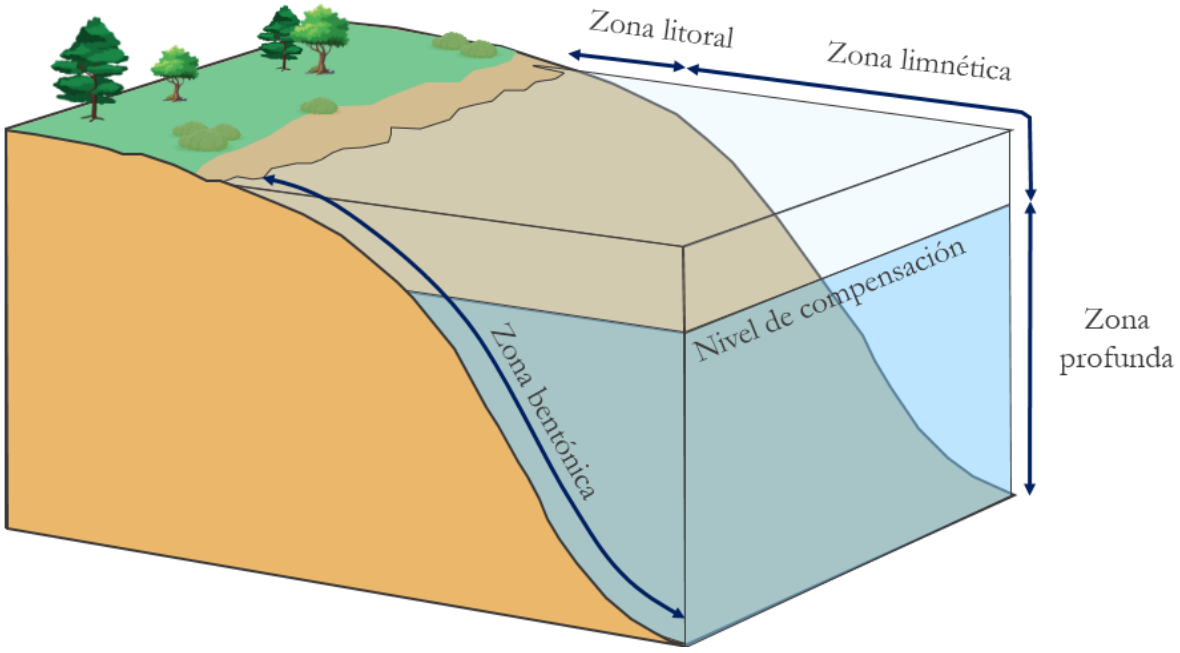


Figura 4.16. Zonas principales horizontales y verticales en un lago.

4.7 Eutrofización

Durante la precipitación pluvial, el agua que cae sobre la tierra escurre por la superficie y se mueve a través del suelo, transportando limo y nutrientes disueltos. Estos aportes enriquecen los ecosistemas acuáticos, proceso llamado eutrofización. Se produce un crecimiento intenso de algas y otras plantas acuáticas, debido a que fluye hacia el lago una abundancia de nutrientes, en particular nitrógeno y fósforo. Las algas y malezas acuáticas eventualmente mueren, se sedimentan y las descomponen las bacterias y protozoarios que existen en el fondo (organismos bentónicos). El proceso de descomposición ejerce una demanda del oxígeno disuelto del agua y puede agotarlo en algunas partes del lago. El enriquecimiento de nutrientes se produce naturalmente en los ecosistemas lénticos cuando la entrada de nutrientes es mayor que la salida de ellos. Considerando que este proceso se relaciona estrechamente con la sucesión natural, es lento y tarda miles de años (figura 4.17).

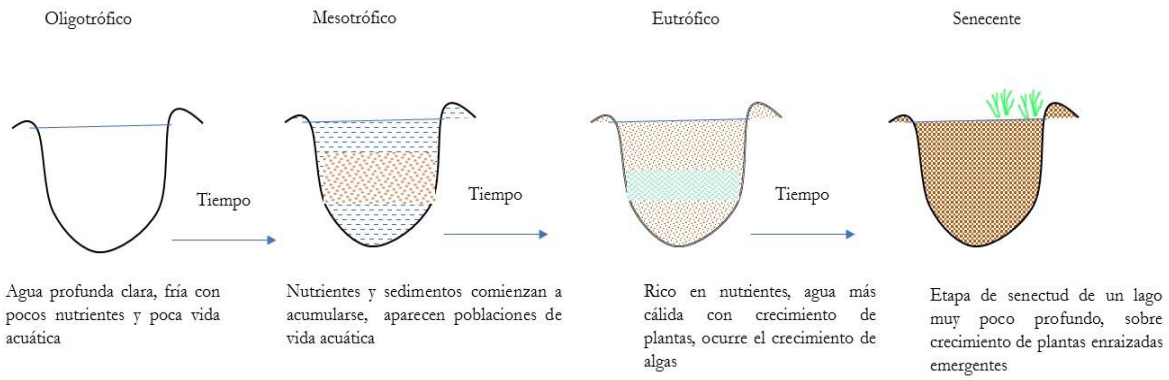


Figura 4.17. Cuatro etapas en la vida de un lago. Todos los lagos pasan por un proceso natural de envejecimiento llamado eutrofización. La actividad humana acelera este proceso.

Sin embargo, la descarga de aguas residuales domésticas o industriales no tratadas y de retorno agrícola en un lago acelera el proceso a décadas. El proceso acelerado se denomina eutrofización cultural, se caracteriza por abundante vegetación en la zona litoral, denso crecimiento de maleza acuática que impide la natación y pesca, estancamiento en el verano con floraciones de algas y disminución de oxígeno disuelto. Un lago que sufre de crecimiento excesivo de algas, o floración de algas, no es bueno para actividades recreativas. Además, si el lago o embalse se emplea para abastecimiento de agua para consumo humano, las algas elevan el costo del tratamiento debido a que tienden a colmatar los filtros de la planta de tratamiento, por lo que se requiere su lavado más frecuente. También se requiere el empleo de sustancias químicas para ayudar a controlar los sabores y olores impartidos al agua por las algas. La muerte de las plantas junto con los sedimentos acarreados por los escurrimientos y corrientes que llegan al lago se acumulan gradualmente en el fondo. Conforme se reduce la profundidad del lago, se vuelve más cálido, causando que prosperen especies menos deseables.

El papel del nitrógeno y fósforo como nutrientes limitantes

El químico agrícola alemán Justus von Liebg publicó entre 1840 y 1862 una serie de libros acerca de la relación entre la producción de plantas y los nutrientes, que ha tenido un efecto relevante en la práctica de la agricultura. De acuerdo con Liebig, el rendimiento de los cultivos agrícolas es proporcional a la fertilidad del suelo y una de sus conclusiones fue la siguiente: "Cuando una porción de terreno contiene igual cantidad de todos y cada uno de los constituyentes minerales y están en una forma disponible, el terreno se vuelve estéril para cualquier tipo de planta cuando, por una serie de cultivos, uno de estos constituyentes –como por ejemplo sílice soluble- ha sido consumido hasta el momento de forma que la cantidad remanente ya no es suficiente para un cultivo" (von Liebig 1855). En otras palabras, el rendimiento de una especie dada debe estar limitado por el nutriente que estuvo presente en la menor cantidad en el ambiente con relación a sus demandas para el crecimiento, y a este enunciado se le conoce como **Ley de Liebig del Mínimo**.

No obstante que la Ley de Liebig se originó en la práctica de la agronomía, proporcionó un fundamento paralelo al campo de la ecología terrestre y acuática. K. Brandt encontró que la

abundancia de plankton en lagos de agua dulce en la región del Holstein de Alemania correlacionó con las cantidades de nitrógeno en las aguas del lago; además, extendió la Ley de Liebig a los océanos hace más de un siglo (Brandt 1899, 1901). Einar Naumann (1919, 1929) desarrolló el marco que ahora conocemos como el **concepto de estado trófico**. Con base en estudios regionales concluyó que la producción de fitoplancton fue determinada primariamente por las concentraciones de nitrógeno y fósforo; que hubo variaciones regionales significativas en productividad entre los lagos, que correlacionó bien con las características geológicas de sus cuencas; y que la productividad algal del lago influyó en la biología del mismo como un todo.

Naumann también propuso los términos que se utilizan actualmente para clasificar a los lagos por su suministro de nutrientes. Los lagos con un suministro grande de nutrientes se denominan **eutróficos** (bien alimentados), y los que tienen suministro pobre son llamados **oligotróficos** (pobremente alimentados). Los lagos con un suministro intermedio de nutrientes son clasificados como **mesotróficos** (figura 4.17). La **eutrofización** es el proceso por el que los cuerpos de agua se hacen más eutróficos debido al incremento en la entrada de nutrientes, y aunque estos términos han sido usados comúnmente para describir ecosistemas lénticos de agua dulce (lagos y embalses), pueden aplicarse también a ecosistemas lóticos (corrientes), estuarios, bahías y otras aguas marinas parcialmente encerradas.

Como consecuencia de los diversos impactos de la eutrofización ya descritos, la necesidad de encontrar una solución práctica al problema comenzó a crecer a finales de los 1940´s.

El concepto de limitación de nutrientes de crecimiento algal es la base de la investigación sobre eutrofización debido a que implica que: (1) un nutriente individual debe ser el factor limitante primario para el crecimiento algal en un cuerpo de agua dado; (2) el crecimiento algal observado en un cuerpo de agua dado debe ser proporcional al suministro de este nutriente; y (3) el control práctico del crecimiento algal y de la eutrofización del cuerpo de agua debe considerar el restringir las entradas de este nutriente clave al sistema.

Generalmente se considera que el nitrógeno y fósforo son los dos nutrientes limitantes primarios para algas y plantas vasculares en ecosistemas acuáticos porque el suministro de ambos frecuentemente es bajo en relación con las demandas celulares para el crecimiento. Esta conclusión se deriva directamente de la Ley de Liebig del Mínimo.

Debido a que el nitrógeno y fósforo son los dos nutrientes limitantes primarios del crecimiento en los ecosistemas acuáticos, y debido a que los ciclos biogeoquímicos de estos dos importantes elementos están cercanamente interrelacionados, se debe considerar el papel de ambos nutrientes en el proceso, impactos y manejo de la eutrofización.

Problema resuelto 4.7 Determinación del nutriente limitante

Un análisis empírico de la composición química de un alga dio como resultado lo siguiente: $C_{106}H_{265}O_{110}N_{16}P$. Determinar el nutriente limitante.

Solución

Se pueden calcular los porcentajes en peso usando los pesos atómicos de cada elemento, como se muestra en la tabla siguiente:

Elemento	Composición mol	Peso molecular g/mol	Peso g	Porcentaje en peso
Carbono	106	12	1272	35.8
Hidrógeno	265	1	263	7.4
Oxígeno	110	16	1760	49.6
Nitrógeno	16	14	224	6.3
Fósforo	1	31	31	0.9
		Total	3550	100.00

En la tabla se observa que para producir 3550 g del alga se requiere que existan al menos 224 g de nitrógeno y al menos 31 g de fósforo. De acuerdo con la Ley de Liebig del Mínimo, el fósforo es el nutriente limitante porque es indispensable para el crecimiento del alga y se encuentra en menor porcentaje. La producción total del alga dependerá de cuánto fósforo esté disponible.

Es común expresar las necesidades de nutrientes como concentraciones en el agua. Por ejemplo, para producir 1 mg/l del alga se requiere de 0.009mg/l de fósforo y 0.063 mg/l de nitrógeno.

En muchos lagos y ríos la producción primaria está limitada por el fósforo (Schindler 2006). Aunque algo del fósforo deja el sistema a través de las salidas, el remanente se acumula en los sedimentos debido a que no existe un proceso natural que transforme el fósforo en formas gaseosas. Entonces la columna de agua puede enriquecerse con fósforo proveniente de fuentes externas (escurrimiento superficial) y fuentes internas (lo que liberan los sedimentos). El enriquecimiento estimula la producción de fitoplancton así como de algas filamentosas que forman tapetes sobre la superficie del agua. Estas algas reducen la luz disponible para el crecimiento de las plantas vasculares enraizadas que estabilizan los sedimentos y proporcionan un hábitat para el zooplancton. Dichos cambios causan una cascada de efectos que conducen a un estado estable alterno. Como sucede en ecosistemas marinos, la alta producción algal incrementa la actividad de microorganismos demandantes de oxígeno que descomponen las algas cuando éstas mueren, causando condiciones hipóxicas[20] que causan alta mortalidad de peces.

[20] Hipóxicas. Condiciones pobres de oxígeno en agua o sedimentos de un ecosistema.

Control de la eutrofización cultural

Los compuestos de fósforo y de nitrógeno son los nutrientes más significativos de las plantas, De estos, el fósforo es reconocido generalmente como factor limitante y requiere mayor control. Una concentración de aproximadamente 0.02 mg/l de fósforo inorgánico causa floraciones de algas en un lago, mientras que la concentración de nitrógeno inorgánico puede ser más de 10 veces ese valor. Sin embargo, por más alta que sea la concentración de nitrógeno, si la concentración de fósforo se mantiene inferior a 0.02 mg/l, no ocurren floraciones de algas.

El tratamiento avanzado de las aguas residuales puede remover buena parte del fósforo, así como de nitrógeno, pero el costo es muy alto.

En áreas agrícolas se debe hacer un uso racional de fertilizantes y agua de riego, controlar la erosión del suelo y desviar los retornos agrícolas, para que no lleguen al lago.

Otra manera de reducir la entrada de nutrientes es desviar los efluentes residuales tratados hacia corrientes, ya que son menos sensibles a los nutrientes. Este método requiere la construcción de extensos sistemas de alcantarillas como interceptores.

Otra fuente de contaminación por nutrientes en los lagos es la infiltración que ocurre en los sistemas de tanque séptico. Todos los sistemas de tanque séptico construidos a menos de 90 m de un lago tienen el potencial para contribuir con nutrientes al mismo. La extensión de la contaminación depende de la profundidad del agua subterránea y del lecho rocoso, así como de la pendiente y composición del suelo. La antigüedad y tamaño de los tanques también son importantes.

Los métodos para reducir las fuentes internas de fósforo incluyen aireación, dragado y tratamiento químico. Menos fósforo se mueve y está disponible para el fitoplancton si se tienen condiciones de rico oxígeno y no ácidas. La aireación de los lagos mantiene condiciones aerobias, mientras que la cal neutraliza los sedimentos. Algunas veces el dragado de los sedimentos superficiales puede reducir el fósforo almacenado en lagos pequeños.

Los efectos causados por las floraciones de algas en lagos pueden ser mitigados temporalmente aplicando sulfato de cobre, que aniquila las algas, pero su dosis debe ser cuidadosamente controlada para prevenir muerte de peces.

La extracción de algas y malezas ofrece un alivio temporal a los problemas causados por la eutrofización, para ello pueden emplearse equipos mecánicos o técnicas manuales.



Actividad 4.5
Malezas acuáticas
A partir del video
https://youtu.be/NlTlkASzYkE
Desarrollar las actividades propuestas

4.8 Especies de plantas y animales en peligro

Las comunidades naturales que forman un ecosistema sufren de alteración con diferente intensidad, desde la explotación de algunos de sus recursos vegetales y animales, hasta la destrucción total de las comunidades y del suelo. Si la pirámide trófica que caracteriza a un ecosistema es alterada, con el transcurso del tiempo aparecerán los efectos, cambiando la estructura de las comunidades. Entre los agentes de cambio inducidos por la actividad humana que están causando una gradual modificación y empobrecimiento de las comunidades naturales, se pueden mencionar los siguientes: fuego, alteración de la cubierta vegetal, tala de bosques, pastoreo, erosión, alteración de las cuencas hidrológicas, deterioro de las lagunas costeras, contaminación, introducción de especies y plagas.

Las formas de deterioro del ambiente natural mencionadas han causado la extinción de muchas especies de plantas y animales, y han puesto en peligro la existencia de muchas otras. Los factores intrínsecos de los que depende la existencia de las especies son: rareza, vulnerabilidad, capacidad de reproducirse y de adaptarse a nuevas condiciones. Existen especies individuales de una comunidad que son afectadas directamente por las actividades humanas, por ejemplo, extracción selectiva o explotación de ciertas especies y caza (figura 4.18).

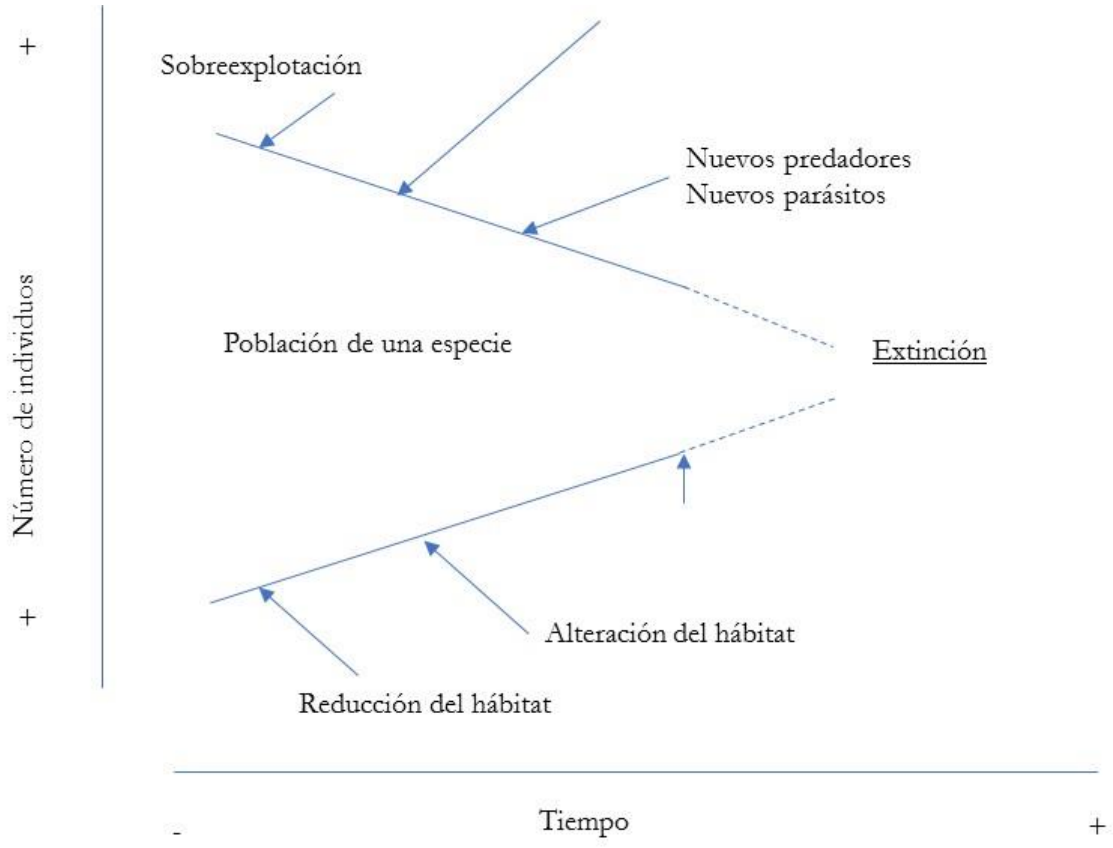


Figura 4.18. Causas de la extinción de las especies.

4.8.1. Rareza de las especies

La **estructura** de una comunidad se refiere a la forma en la que está organizada. La estructura cuantitativa considera el número de individuos o la biomasa que aporta cada especie de la comunidad. No todas las especies en una comunidad tienen la misma abundancia, sino que existe una o pocas especies con mayor importancia a las que se les denomina **especies dominantes**, mientras que las otras son más bien raras.

La **diversidad** es la variedad de organismos que forman una comunidad. La riqueza de especies y su abundancia son los componentes de la diversidad.

Para ilustrar lo anterior, supóngase que una comunidad de árboles está formada por 99 pinos y un encino, otra comunidad tiene 50 pinos y 50 encinos. La riqueza de ambas comunidades es la misma, pero la abundancia relativa de cada especie hace que sean comunidades totalmente diferentes. La segunda es más diversa pues se distribuyen los recursos de manera equitativa entre las dos especies; en cambio, en la primera comunidad los pinos dominan el terreno.

La **rareza** se refiere a la proporción de especies que son escasas en una comunidad. Los niveles de rareza dependen de tres características de las especies (Rabinowitz et. al, 1986): 1) la amplitud de su distribución geográfica, es decir, que se encuentren en un área pequeña o sobre una superficie amplia; 2) lo específico del hábitat, que toma en cuenta el que la especie habite solamente en sitios con ciertas características o, por el contrario, que pueda adaptarse a diferentes ambientes; y 3) el tamaño de las poblaciones, que considera el que la especie se encuentre en poblaciones numerosas en cualquier lugar de su área de distribución o, por el contrario, que sus poblaciones sean siempre pequeñas.

En virtud de lo anterior, si se trata de una especie con amplia distribución geográfica, amplia capacidad para adaptarse a diferentes hábitats y poblaciones numerosas, sería una de las especies más comunes. La actividad humana ha beneficiado a muchas de estas especies que se han adaptado a los ambientes perturbados. Las plantas y animales de este grupo no están en peligro, más bien son especies invasoras.

Entre los grandes carnívoros de México, el lobo gris es un ejemplo de una especie con amplia distribución geográfica y amplia capacidad para adaptarse a diferentes ambientes naturales; sin embargo, sus poblaciones son poco numerosas debido a que se les ha sometido a cacería y persecución, y se ha destruido o reducido la superficie de las comunidades en que se encontraban, por lo que actualmente es una especie en peligro de extinción en el territorio mexicano.

Otro ejemplo ocurre en zonas de distribución geográfica muy restringida y de gran especificidad de la Sierra Madre Occidental a 2400 msnm, entre Chihuahua y Durango, existe un tipo de abeto, la conífera *Picea chihuahuana*, formando poblaciones de unos cuantos cientos de individuos. Está en peligro de extinción a causa de la tala clandestina, el fuego y el pastoreo.

Las principales causas de que existan especies de plantas y animales en peligro de extinción en México son la destrucción de su hábitat natural y la sobreexplotación de los individuos de cada

especie, pero existen otras acciones que aceleran la desaparición, como son: la introducción de especies exóticas, que pueden ser predadoras o competidoras; introducción de enfermedades y parásitos; eliminación de otras especies que sirven de alimento, son polinizadores o dispersan semillas; contaminación; y la reducción o fragmentación del hábitat (aislamiento).

Cuando se destruye el hábitat al que una especie está adaptada, no hay posibilidad de que se recupere a través de la reproducción. La sobrevivencia de la mayoría de las especies está en peligro por esta causa. Por ejemplo, si la selva cálido-húmeda madura continúa fragmentándose y disminuyendo su superficie, los primates mexicanos se extinguirán sin remedio, pues necesitan fragmentos relativamente extensos de dicha comunidad vegetal para obtener su alimento.

Cada especie requiere un área mínima para su sobrevivencia, que está relacionada con su posición en la pirámide trófica. En una superficie pequeña pueden existir especies representadas por muchos individuos; o bien, en una superficie amplia puede haber especies representadas por individuos muy aislados, en este caso se requiere preservar un área mayor de la comunidad natural con el fin de lograr la reproducción y la variabilidad genética de las especies.

El área mínima que requieren los animales depende del tipo de alimento que consumen, así por ejemplo los carnívoros de gran talla, como el jaguar, necesitan entre 25 y 30 km^2 por individuo; una población viable de jaguares requeriría una superficie mucho mayor. Por el contrario, los herbívoros pequeños requieren menor superficie por ser poco especializados en su dieta. Es pertinente mencionar que en este aspecto también influye la territorialidad y grado de sociabilidad de las especies.

La sobreexplotación de una población consiste en tomar más individuos de los que pueden ser restituidos por la fertilidad natural de la especie, en esta situación se encuentran las dos especies de osos mexicanos, el jaguar, el mono araña y el tapir, por mencionar algunos ejemplos, pero hay muchos otros.

Para satisfacer la demanda de plantas de ornato en México y en el extranjero, se extraen especies de orquídeas, cactáceas y palmas pequeñas, en tal cantidad que se está poniendo en peligro su sobrevivencia.

Recuadro 4.9
Plan del WFF para recuperar 10 especies amenazadas en México
El país, muy vulnerable a embates del cambio climático, alertan

El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés) presentó un plan para recuperar 10 especies amenazadas en México, conservar importantes bosques en cinco entidades y crear un sistema nacional de reservas de agua en 300 cuencas, entre otras metas.

La estrategia, llamada Conectar para conservar, fija acciones a 10 años, de 2016 a 2026. Pretende reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático, explicó Omar Vidal, director general en México de WWF.

En conferencia de prensa, recordó que éste es el segundo país con mayor biodiversidad de ecosistemas y el cuarto con más diversidad biológica. Por ello México tiene mucha importancia para esa organización, agregó Marco Lambertini, director internacional.

La estrategia se lanzó a dos meses de que inicie la Conferencia de las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica en Cancún. Pretenden rescatar poblaciones de vaquita marina, tiburón ballena, tortuga carey, mariposa monarca, jaguar y varias especies de cactáceas.

Además, conservar los bosques en la Sierra Tarahumara de Chihuahua; la zona de la mariposa monarca, en Michoacán y estado de México; los Chimalapas y la sierra costera, en Oaxaca, y la selva lacandona, en Chiapas.

Para lograrlo vamos a conectarnos y conectar a otros con la biodiversidad, indicó. Buscarán involucrar a empresas, gobiernos, comunidades y ciudadanía. WWF es una de las agrupaciones no gubernamentales dedicadas al medio ambiente, más grandes a escala mundial, y está presente en más de 100 países, en los cinco continentes, abundó Vidal.

México afronta desafíos importantes en su búsqueda del desarrollo sustentable. Por su posición geográfica, condiciones climatológicas, red hidrológica y topografía es muy vulnerable a los embates del cambio climático, advirtió Exequiel Ezcurra, director del Instituto para México y los Estados Unidos de la Universidad de California.

En 15 años habrá casi 138 millones de mexicanos, 8 de cada 10 vivirán en ciudades y se duplicará la demanda energética y de agua dulce. Si no actuamos, la calidad de vida y el bienestar de la población se verán aún más afectados, apuntó el especialista.

Fuente: (Juárez, 2016, pág. 37)

4.8.2. Extinción de especies

En muchos sitios, la variabilidad genética, el paso del tiempo y otros factores han permitido la evolución de **especies endémicas**, es decir, seres vivos originarios de ese lugar, que se mezclan con las que se originaron en otros sitios y se encuentran ahora ahí. En áreas vulnerables al deterioro, las especies endémicas están en peligro de extinción. En esta situación se debe considerar también a las especies que pasan inadvertidas para la mayoría de las personas, como son muchos invertebrados, algas, musgos, etcétera.

Si bien la extinción es un proceso natural, muchas especies de plantas y animales que existían en México se han extinguido como consecuencia del crecimiento y desarrollo económico que ha tenido lugar, sin el adecuado interés ecológico y sin medidas de conservación. Algunas especies de plantas y animales han disminuido en cantidad al grado de estar consideradas como amenazadas. Estas especies tienen valor estético, ecológico, educacional, histórico, recreacional y científico para la población del país. Debido a esto se publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

La NOM define **especies en peligro de extinción**, "aquellas cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el Territorio Nacional han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros". El término **especies amenazadas** significa "aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones.

La citada NOM tiene el propósito de identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana, mediante la integración de las listas correspondientes, así como establecer los criterios de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para las especies o poblaciones.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana 059, en México hay 49 especies extintas, 475 en peligro de extinción, 896 amenazadas y 1185 sujetas a protección especial.

Recuadro 4.10
Muro entre México y EU afecta la migración de 800 especies

La migración y los movimientos de más de 800 especies de vertebrados, principalmente mamíferos, reptiles y anfibios, está siendo afectada por el muro fronterizo entre México y Estados Unidos, que ya mide unos mil kilómetros y viola acuerdos internacionales ambientales y, por tanto, la soberanía de México, afirmó el investigador Gerardo Ceballos, del Instituto de Ecología (IE) de la UNAM.

Por ello, calificó de estupidez la propuesta del aspirante republicano a la presidencia de Estados Unidos, Donald Trump, de construir un muro en la frontera entre ambas naciones, en una de las regiones más ricas en flora y fauna del continente, que ya tiene impactos terribles.

Los impactos del muro son, además de sociales y económicos, ambientales. Estos últimos tienen que ver con el movimiento de especies con poblaciones entre ambos países, para las que el muro se convierte en una barrera infranqueable.

Las que están en peligro de extinción –como jaguares, borregos cimarrones, el berrendo sonorense, castores y ocelotes– requieren de estos movimientos para mantener saludables sus poblaciones, pues entre más pequeñas, son más susceptibles a la extinción.

A escala mayor, el muro impacta los servicios ambientales, que son los beneficios que obtenemos los seres humanos de la naturaleza. Por ejemplo, la calidad y cantidad de agua, la calidad de aire y fertilización de suelos. El muro ya ha provocado cambios en el flujo de arroyos y ríos, infiltración y otros problemas que afectan a ambos países.

Mi grupo de trabajo y otros investigadores hemos evaluado que más de 800 especies están siendo afectadas, lo que empeorará si la totalidad del muro se construye, aseguró.

El experto en ecología y conservación de especies en peligro de extinción reconoció que cualquier nación puede proteger su soberanía de la manera que considere adecuada, pero tomando en cuenta un par de cosas: el respeto a la soberanía de otro territorio y a los acuerdos internacionales, en este caso, en materia ambiental.

Levantar el muro ha sido una flagrante violación a estos tratados, aseveró, al tiempo que señaló que el gobierno mexicano no ha hecho un reclamo lo suficientemente severo ante la amenaza.

Gerardo Ceballos, también especialista en macroecología y biogeografía, explicó que el Estado mexicano puede recurrir a la Corte Internacional de Justicia de la Organización de Naciones Unidas (ONU) en La Haya, para presentar su queja, o bien acercarse al gobierno estadunidense para procurar que en las regiones amplias donde no hay muro se garantice el paso de fauna y flora.

El experto indicó que se podría establecer una mesa de diálogo en la que especialistas en materia ambiental y política internacional analizaran el tema para encontrar soluciones.

En el Laboratorio de Ecología y Conservación de Fauna Silvestre del IE, prosiguió, se pueden proporcionar soluciones de manejo y vigilancia de la frontera menos disruptivas y que se basen, más que en un muro, en mecanismos electrónicos que alerten sobre un posible tráfico ilegal de personas y/o drogas, sin que se afecte la diversidad biológica, los servicios ambientales y los derechos humanos.

Haremos una propuesta formal al Ejecutivo federal y a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) sobre las acciones a seguir, de manera respetuosa para Estados Unidos y México, a fin de abordar este tema con la mayor ciencia y tecnología, evitando afectar a los pobladores locales, a la fauna, la flora y a todos los servicios ambientales que la región brinda, añadió Ceballos, premio Nacional al Mérito Ecológico y uno de los pocos científicos mexicanos miembros de la Academia Estadunidense de Ciencias y Artes.

Fuente: (Jornada, 2016)



Foto 4.17 Los impactos de la construcción del muro fronterizo son sociales, económicos y ambientales. Para especies con poblaciones entre ambos países, el muro se convierte en una barrera infranqueable. En la imagen, trabajadores remplazan la vieja cerca por una barda de metal más alta a lo largo de la frontera entre Ciudad Juárez, Chihuahua, y El Paso, Texas.

Actividad 4.6
COP13 de Diversidad Biológica, México 2016
A partir del video
https://youtu.be/5Z8ZinmkGZ8
Elaborar un mapa conceptual.

Actividad 4.7
Aprender a proteger la biodiversidad
A partir del video
https://youtu.be/oxa8eBsX6lU
Desarrollar las actividades propuestas

Actividad 4.8
Pérdida de biodiversidad
A partir del video
https://youtu.be/z2FHJGKfsSU
Desarrollar las actividades propuestas

4.8.3 Impactos que causan proyectos de desarrollo en los ecosistemas

Las acciones de un proyecto o actividad y las características de la comunidad biótica que será afectada, influyen en la direccionalidad, intensidad y duración de los impactos ambientales. Además, la capacidad de recuperación de dicha comunidad está en función del tiempo y supeditada al tipo y grado del impacto.

Es imposible hacer predicciones cuantitativas precisas de los impactos ambientales debido a que los ecosistemas son complejos, variables y su capacidad de recuperación no es previsible. No obstante, la repetición de impactos ambientales a causa de diversos proyectos ha hecho que en la actualidad las predicciones sean más confiables.

Los proyectos y actividades humanas tienen consecuencias biológicas adversas, ya sean directas o indirectas, y de duración variable (corto o largo plazo) (figura 4.19). Los impactos directos son aquellos que destruyen, desplazan, o de alguna manera dañan a las plantas y animales, por ejemplo: el desmonte realizado para la agricultura, construcción de obras, o explotación minera; dar pendiente a un terreno; canalización, etc. En cambio, los impactos indirectos son aquellos que destruyen o perturban hábitats, ecosistemas u otros factores físicos o biológicos de los que dependen las especies, por ejemplo: apacentar animales domésticos, modificar el nivel freático o el drenaje, eliminar sitios de anidamiento o descanso, afectar cadenas o redes tróficas, usar agroquímicos, introducir especies, liberar contaminantes en la atmósfera o cursos de agua, causar ruido y construir barreras que impidan el movimiento de los animales. Los impactos a corto plazo sobre el medio natural son cambios inmediatos y directos que ocurren al inicio de un proyecto o acción, pero terminan o se corrigen después de alguna etapa del proyecto (suelen cesar después de la preparación del sitio o construcción), o cuando termina la acción que los causó. Los impactos a largo plazo sobre el medio natural son el resultado de cambios mayores directos o de perturbación crónica como resultado de la etapa de operación de un proyecto.

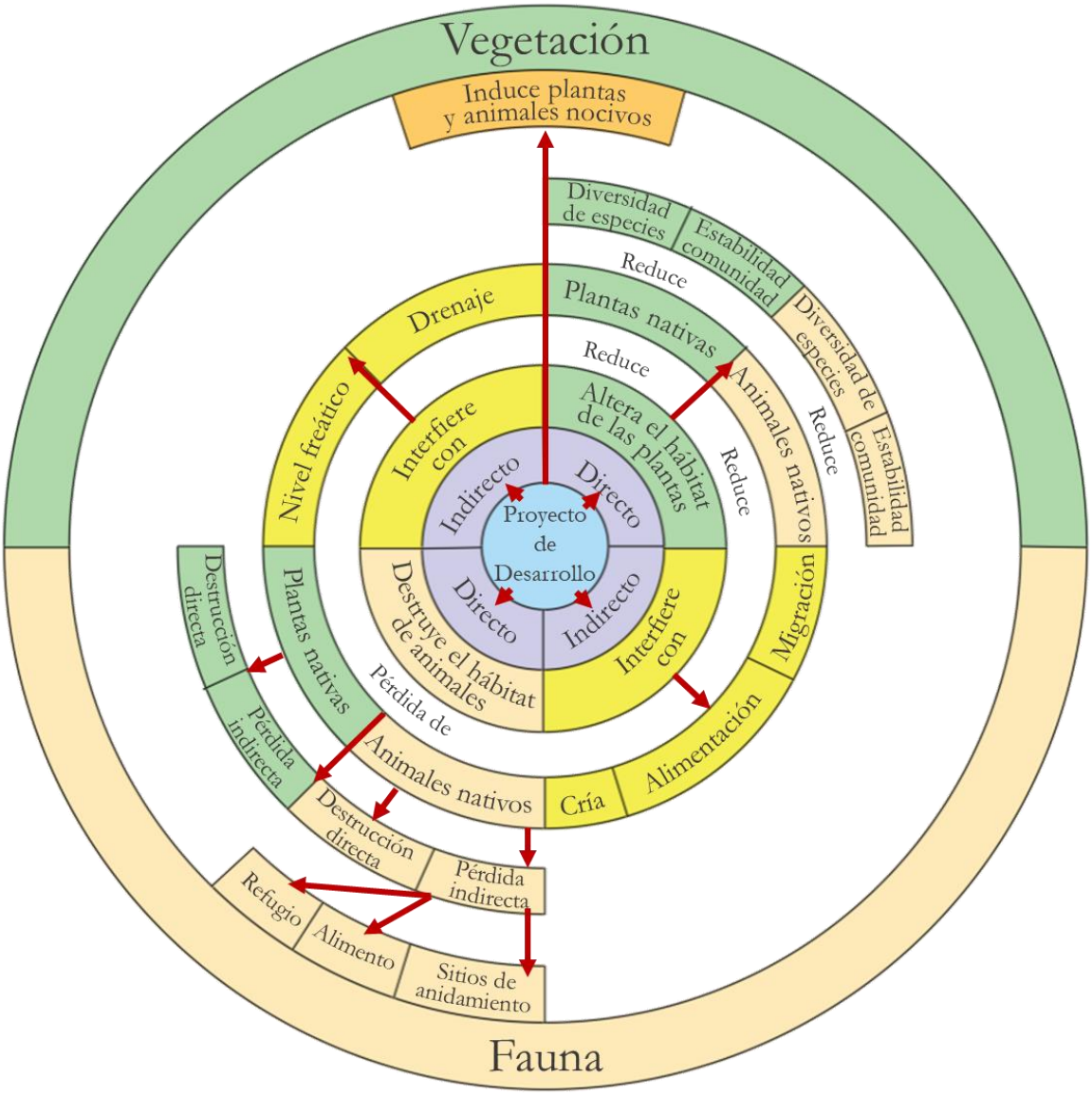


Figura 4.19. Impactos de los proyectos de desarrollo sobre la vegetación y la fauna. Analizar la figura a partir del centro, en la dirección de las flechas.

Los impactos sobre los organismos no siempre tienen consecuencias obvias, en particular los impactos a largo plazo pueden tener consecuencias más profundas en la vida de los organismos de lo que es evidente.

La tabla 4.5 resume algunos impactos ambientales típicos, adversos o benéficos, inducidos por actividades humanas sobre la biota. Durante mucho tiempo se consideró que el resultado de cada una de las prácticas humanas listadas en dicha tabla era benéfico para la humanidad. Desafortunadamente, algunos de los problemas ambientales más complejos que enfrentamos en la actualidad son el resultado de respuestas repentinas ecológicas y ambientales.

Tabla 4.5. Impactos típicos de la actividad humana sobre la biota

Actividad	Tipos de impacto sobre la biota	Adverso	Benéfico
Desmonte	Crea un nuevo ambiente	✔	
	Crea condiciones adecuadas para la proliferación de roedores	✔	
	Destruye el hábitat	✔	
	Causa la pérdida de lugares de descanso y de alimento	✔	
	Causa la pérdida de plantas y animales nativos	✔	
	Reduce la diversidad de especies	✔	
Cosecha de madera	Incrementa el "efecto de borde"		✔
	Destruye el hábitat	✔	
	Causa la pérdida de especies clímax	✔	
Agricultura	Fomenta unas cuantas especies	✔	
	Destruye el hábitat	✔	
	Causa la pérdida de plantas y animales nativos	✔	
	Causa el aumento de especies de malezas	✔	
Apacentamiento de ganado	Destruye el hábitat	✔	
	Causa la pérdida de plantas y animales nativos	✔	
	Causa el aumento de especies de malezas	✔	
Presas y embalses	Crea un ecosistema de playa		✔
	Incremento potencial de los tipos de especies	✔	✔
	Destruye el hábitat	✔	
	Causa la pérdida de plantas y animales nativos	✔	
Desvío de cauces	Destruye el hábitat	✔	
	Modifica los patrones de migración	✔	✔
Dragado de puertos	Destruye el hábitat bentónico	✔	
Drenado y relleno	Destruye el hábitat	✔	
	Causa la pérdida de plantas y animales nativos	✔	
	Reduce la diversidad de especies	✔	
Construcción y operación de plantas de energía	Altera la reproducción y alimentación por el ruido	✔	
	Cambio en la vida acuática debido al calentamiento del agua adyacente	✔	
	Causa la pérdida potencial de vida animal debido a efectos de radiación (energía nuclear)	✔	
Descarga de contaminantes en los cuerpos de agua	Perturba el hábitat de humedal	✔	
	Causa la pérdida de plantas y animales nativos	✔	
	Reduce la diversidad de especies	✔	
	Extinción potencial de especies	✔	
	Pérdida de pesquerías	✔	
Contaminación atmosférica	Daño potencial a los cultivos	✔	
	Pérdida de madera y follaje	✔	
Bombeo de agua subterránea	Pérdida de árboles y arbustos de raíces profundas	✔	
	Impide el crecimiento de plantas y su productividad	✔	

Tabla 4.5. (Continuación) Impactos típicos de la actividad humana sobre la biota

Actividad	Tipos de impacto sobre la biota	Adverso	Benéfico
Pesca y caza	Mantiene el tamaño de la población por debajo de la capacidad de carga del sitio		✔
	Elimina individuos viejos		✔
	Causa desequilibrio	✔	
Manejo de la vida animal	Favorece especies seleccionadas	✔	✔
	Estorba a las especies no administradas	✔	
Exploración y desarrollo de recursos	Destruye el hábitat	✔	
	Perturba la vida animal	✔	
Carreteras, ferrocarriles y aeropuertos	Incrementa el "efecto de borde"		✔
	Destruye el hábitat	✔	
	Interfiere con las rutas migratorias	✔	
	Causa la pérdida de plantas y animales nativos	✔	
Torres de comunicaciones	Crea perchas para aves		✔
	Interfiere con las aves migratorias	✔	
Gasoductos y oleoductos	Interfiere con la migración animal diaria y estacional	✔	
Desarrollo industrial, comercial y residencial	Incrementa malas hierbas y plagas	✔	
	Causa la pérdida de plantas y animales nativos	✔	
	Incrementa el "efecto de borde"	✔	
Plataformas petroleras	Perturba el hábitat	✔	
	Peligro potencial para organismos inter-marea y aves por derrames y fugas de petróleo	✔	
Rellenos sanitarios	Favorece a los animales de basurero	✔	
	Perturba y destruye el hábitat	✔	
	Causa la pérdida de plantas y animales nativos	✔	
Conservación y restauración	Incrementa la cantidad de plantas y animales nativos		✔
	Incrementa la diversidad de especies		✔
	Restaura el equilibrio de los ecosistemas		✔



Actividad 4.9
Praderas
A partir del video
https://youtu.be/FoeD2GU-Yz8
Desarrollar las actividades propuestas



Actividad 4.10
Plagas
Lee el capítulo 12 "Control de plaga y de mala hierba" del libro Tratado de ecología de Amos Turk, Janet T. Wittes, et al. *Tratado de ecología,* Nueva Editorial Interamericana, México, 1981. 2° Edición
Desarrollar las actividades propuestas



Actividad 4.11
Rally de identificación de impactos en el Pedregal de San Ángel, CDMX
Lleva a cabo el Rally y desarrolla las actividades propuestas

El común denominador de los proyectos de ingeniería y adiciones tecnológicas que han sido realizados es que llevaron a la simplificación de sistemas naturales. Este reduccionismo causa, por una parte, pérdidas en la eficiencia biológica, diversidad, equilibrio y autosuficiencia de la comunidad biótica y, por otra parte, incremento de especies de plagas de plantas y animales.



Foto 4.18. Los impactos a largo plazo sobre el medio natural son el resultado de perturbación crónica como resultado de la etapa de operación de un proyecto. Mina, Monterrey Nuevo León. Fuente: Carlos Sánchez Pereyra, Banco de imágenes CONABIO.

La alteración o remoción de la vegetación natural ha sido la causa principal de la destrucción de hábitats, reducción de plantas y animales endémicos, y extinción de especies. Cuando realizar un proyecto propuesto implique alterar o remover vegetación nativa, se deben considerar los impactos listados en la tabla 4.5. Remplazar vegetación nativa con techos impermeables, caminos, autopistas y áreas de estacionamiento, causa impactos indirectos, como son:

- Reducción en la cantidad de alimento y de oxígeno producido a través de la fotosíntesis por unidad de área cubierta, así como disminución de la disipación de calor.
- Incremento de tasas de escurrimiento de agua superficial durante la precipitación pluvial, que a su vez incrementa el problema de control de inundaciones y del manejo y disposición de aguas residuales, y reduce la recarga de aguas subterráneas y humedales.
- Detención del reciclaje de nutrientes entre vegetación y el suelo.

Los proyectos que implican la alteración de recursos hidráulicos, por ejemplo: construcción de presas, desvío de cauces de ríos, dragado de puertos, drenaje y relleno de humedales, uso de agua para transporte de sólidos, sustancias químicas y desechos con alta temperatura, han generado grandes impactos benéficos y adversos (tabla 4.5). La mayoría de estos proyectos de ingeniería son muy grandes y están entre las denominadas obras públicas. La alteración de los ecosistemas acuáticos tiene profundos efectos sobre el ambiente en general. Cuando se trata de proyectos de obras de uso y manejo del agua, entre los impactos adversos están los siguientes:

- Destrucción directa de hábitats, tanto terrestres como acuáticos.
- Alteración de las propiedades físicas del hábitat acuático debido a embalses.

- Azolvamiento de cauces de ríos y lagos o embalses. Este problema es agravado por la remoción de vegetación y árboles aguas arriba y otros tipos de sistemas de manejo de cuencas y drenaje.
- Acumulación de sales en suelos superficiales a causa del riego de tierras áridas y semiáridas. Conforme la salinidad se incrementa, la producción de cultivos declina hasta que el contenido de sales se vuelve tan alto que solo sobreviven plantas tolerantes a las sales, no cultivables.
- Las fuentes de agua con alta concentración de sólidos disueltos totales (SDT) pueden exceder los límites de calidad del agua para consumo humano.
- Afectación a la calidad del agua superficial debido a la descarga de desechos urbanos. Ciertas sustancias químicas inorgánicas y orgánicas son tóxicas a los organismos acuáticos, mientras que otras pueden causar eutrofización. Las cantidades excesivas de desechos orgánicos, en particular las aguas residuales, reducen el contenido de oxígeno disuelto en el agua e incrementan la demanda bioquímica de oxígeno, lo cual puede causar la muerte masiva de organismos en el hábitat acuático.



Foto 4.19. Las cantidades excesivas de desechos orgánicos reducen el contenido de oxígeno disuelto en el agua, lo cual puede causar la muerte masiva de organismos en el hábitat acuático. Contaminación, Tezonapa, Veracruz. Fuente: Banco de imágenes CONABIO; autor: Ismael Quiroz Guerrero.

Recuadro 4.11
Emite UNAM informe sobre los daños por el derrame de tóxicos en Sonora

El Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) emitió el informe Las evidencias de las afectaciones a la integridad funcional de los ecosistemas del Río Bacanuchi y el Río Sonora por el derrame de la mina Buenavista del Cobre: avances del diagnóstico ambiental, el cual señala la existencia de daños a los ecosistemas, a la población y socioeconómicos, los cuales no reparó ni indemnizó la empresa.

La investigación encontró que persisten evidencias de daños ambientales por el mayor derrame de tóxicos ocurrido en la historia del país (40 mil metros cúbicos de ácido sulfúrico) en tres subsistemas de la zona: el abiótico (el agua superficial y subterránea, suelo, sedimentos y partículas suspendidas), en el biótico (flora, fauna silvestre y doméstica) y en todas las actividades productivas.

Recalca que 15 meses después del desastre ecológico que protagonizó la minera de Grupo México, del empresario Germán Larrea, en los muestreos realizados en agua superficial se observaban concentraciones de aluminio, hierro y manganeso que rebasan los límites permitidos por la NOM-127-SSA1-2000, lo que sugiere la exacerbación de un problema crónico regional por el derrame.

En las 7 mil 500 muestras que tomaron en mil 580 sitios de los afluentes señalados, los expertos de la máxima casa de estudios detectaron concentraciones de metales pesados mayores en el suelo y sedimento del Río Bacanuchi a un año y seis meses de haber ocurrido el derrame, y afectación adversa al hábitat acuático, que se manifiesta en el cambio de la estructura poblacional de especies de peces endémicas y amenazadas en todos los ríos de la zona, pues a un año del suceso hay ausencia de estadios juveniles de los mismos. Asimismo, las afectaciones llegaron hasta la presa El Molinito.

De igual manera hay alta mortalidad de árboles ribereños sobre el arroyo Tinaja Uno, 13 kilómetros al sur, un año después del suceso que generó esta empresa de Grupo México, la cual ha asegurado que se atendieron y corrigieron todos los daños. Esto, según la investigación, es falso.

El informe contiene datos técnicos: información de muestreos que fueron enviados a laboratorios de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria y EMA, y geomorfología de los ríos: análisis geoestadístico, entre otros.

También se tomaron muestras en peces, fauna terrestre, flora intestinal, vegetación, entorno socioeconómico y los afluentes, desde el represo Tinajas hasta Hermosillo.

El documento recalca que una de las mayores afectaciones encontradas en el entorno socioeconómico son las concentraciones de metales en lácteos y en frutas y verduras producidos en la zona.

El Instituto de Ecología puntualiza que, en términos de la Ley de Responsabilidad Ambiental, los resultados de la investigación constituyen un conjunto de datos, que de manera clara y manifiesta, demuestran la existencia de daños a los recursos naturales, los ecosistemas, las condiciones químicas, físicas y biológicas de los ríos Bacanuchi y Sonora por el derrame.

También expone que hay daños indirectos a los ecosistemas y los pobladores por la exposición a elementos tóxicos provenientes de las sustancias derramadas por Buenavista del Cobre, a consecuencia de los procesos de bioacumulación de metales pesados en las zonas afectadas, y concluye que el cambio en las condiciones químicas de los hábitat, ecosistemas y servicios ambientales tendrán efectos negativos a mediano y largo plazos en los cultivos, las zonas de pastoreo y los poblados de esta área.

El secretario del Trabajo, Alfonso Navarrete Prida, señaló en conferencia de prensa de octubre de 2014 que ya están libres de contaminación los ríos Sonora y Bacanuchi, y sostuvo que la producción de alimentos en esa entidad era segura para su consumo, incluyendo verduras y ganado.

Fuente: (Ríos, 2016, pág. 36)



Muchas actividades humanas causan contaminación atmosférica en los países industrializados. La emisión de desechos gaseosos y partículas a la atmósfera ocasionan una variedad de impactos adversos, tales como:

- Reducción de la energía solar asimilada por las plantas y, en consecuencia, reducción de la fotosíntesis y de la producción de oxígeno en el área contaminada.
- Daño a ciertas plantas (y quizá animales) susceptibles a varios contaminantes del aire. Algunos investigadores consideran que la mayoría de las plantas sufren daño en algún grado.
- El clima de los centros urbanos sufre alteración significativa en comparación con el del ambiente rural de los alrededores. Los cambios notables son el incremento de la frecuencia de lluvias ligeras; alteración de la humedad relativa del aire; acidificación del agua de lluvia y suelos; y elevados niveles de metales pesados y plaguicidas que pueden alcanzar niveles tóxicos en plantas y animales.

Los impactos potenciales más graves sobre los sistemas y comunidades naturales son causados por los desarrollos industriales y urbanos. La tabla 4.5 lista algunos de éstos, pero existen otros impactos, por ejemplo:

- Acumulación de residuos sólidos que se producen por el flujo de entrada de alimento y material sin un reciclaje simultáneo dentro del centro urbano.
- Impacto directo sobre la vegetación en áreas urbanas por las actividades humanas –poda en exceso, restricción de copas y confinamiento del sistema de raíces debido a los edificios y pavimentos, daño y erosión del espacio abierto, arreglo uniforme de árboles de las calles y plantas ornamentales (uniformes tanto en tipo como en edad), eliminación de árboles maduros y hojarasca, sobre-riego o pobre riego, colocación de plantas en ambientes (hábitats) inadecuados para sus requerimientos, disminución del nivel freático y exposición de plantas susceptibles a las formas gaseosas y partículas de contaminación atmosférica.

- Los animales en el ambiente urbano son afectados adversamente por las actividades humanas, a través de la privación de suministro de alimento natural; envenenamiento de organismos no objetivo; disparo ilegal (vandalismo); daño y destrucción de nidos; restricción de movimiento por avenidas, cercas, líneas de alta tensión, postes y antenas; muerte causada por vehículos terrestres y aéreos; ruido y otras actividades.
- Comúnmente los desarrollos urbanos, como los que se construyen en zonas turísticas costeras, producen impactos directos adversos sobre la vida animal y vegetal nativa de un área. Los hábitats establecidos y necesarios son destruidos, y su destrucción es la causa principal de declinación de la población animal y extinciones locales. Muchas plantas tienen requerimientos especiales y cuando el ambiente es alterado estas plantas no pueden sobrevivir.
- La remoción de la población nativa tiene profundos efectos no sólo sobre la estructura de la comunidad natural sino también sobre el ambiente físico y la vida animal. El resultado inmediato es una intensificación de los factores físicos, como el incremento de luz solar, efectos de secado, y erosión eólica e hídrica. Un efecto simultáneo es la intermitencia en la disponibilidad de alimento, descanso y materiales para nidos y sitios para ciertos animales. Esto a su vez lleva a su sobreexposición, enfermedad, inanición e incremento de peligro cuando los animales intentan emigrar hacia fuera del sitio del desarrollo.

Al alterar el carácter del ambiente, los seres humanos traen cambios en los patrones de comportamiento con los organismos de la misma especie y entre especies, de manera que la mayoría de las especies no son exitosas. Sin embargo, las pocas que lo son, lo hacen algunas veces de manera explosiva. Si el desarrollo urbano deja algo de la estructura de la comunidad natural, se compone comúnmente de especies pioneras que toleran cambios en el tipo de alimento, descanso y tienen algunas relaciones limitadas con otros organismos.

La mayoría de ganado doméstico, cultivos agrícolas y mascotas provienen de la introducción de especies extranjeras o exóticas por las personas. Sin embargo, algunas introducciones, han sido accidentales y se han convertido en las principales especies de plagas. Algunas se han transformado en destructoras de cultivos, otras compiten con especies nativas y otras pueden ser portadoras de enfermedades (vectores) o venenosas. Cuanto mayor sea el área natural perturbada, más exitosas serán las especies extranjeras. Por ejemplo, si se desmonta una parcela de 10 hectáreas para el desarrollo, esto puede llevar a especies de maleza y plagas moviéndose hacia adentro desde las áreas de alrededor, creando problemas de mantenimiento.

Se obtienen unos cuantos beneficios para el bienestar humano como resultado de las variadas actividades que producen impactos sobre el ambiente natural. Algunos de estos beneficios son: 1) suministro estable y variado de alimento; 2) recursos naturales abundantes y variados; 3) suministro de energía estable pero disminuido; 4) reducción de peligros ambientales como inundaciones y fuego; 5) suministro estable de agua para propósitos doméstico, industrial y recreativo; 6) facilidad y movimiento rápido en cortas y largas distancias; y 7) medios de comunicación eficientes y rápidos.
Estos beneficios son opacados por efectos adversos tales como: 1) peligro a la salud por algunos plaguicidas, metales pesados, asbesto, contaminantes del aire y agua, especies de plagas,

enfermedades de los organismos y ruido; 2) daño a la propiedad y pérdida por intrusión dentro de ciertos sistemas naturales como planicies de inundación; y 3) pérdida de contacto con procesos naturales, ciclos y belleza del paisaje.

4.9 Leyes, reglamentos y normas oficiales mexicanas aplicables a la protección de los ecosistemas

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente es reglamentaria de las disposiciones constitucionales relativas a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección del ambiente. No obstante, otras leyes federales inciden en varios aspectos relacionados con la protección de los ecosistemas.

4.9.1. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) contiene disposiciones de orden público e interés social que tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:

- Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar;
- Definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación;
- La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente;
- La preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas;
- El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles con la preservación de los ecosistemas la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad;
- La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo;
- Garantizar la participación corresponsable de las personas, en forma individual o colectiva, en la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente;
- El ejercicio de las atribuciones que en materia ambiental corresponde a la Federación, los Estados, la Ciudad de México y los Municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos;
- El establecimiento de los mecanismos de coordinación, inducción y concertación entre autoridades, entre éstas y los sectores social y privado, así como con personas y grupos sociales, en materia ambiental, y
- El establecimiento de medidas de control y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y de las disposiciones que de ella se deriven, así como para la imposición de las sanciones administrativas y penales que correspondan.

En materia de hábitats naturales críticos (HNC) y del patrimonio cultural – tangible e intangible– la LGEEPA establece como finalidades de las áreas naturales protegidas (ANP):

- Preservar los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas y de los ecosistemas más frágiles, para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos;
- Salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres de las que depende la continuidad evolutiva; así como asegurar la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del territorio nacional, en particular preservar las especies que están en peligro de extinción, las amenazadas, las endémicas, las raras y las que se encuentran sujetas a protección especial;
- Asegurar el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y sus elementos;
- Proporcionar un campo propicio para la investigación científica y el estudio de los ecosistemas y su equilibrio;
- Generar, rescatar y divulgar conocimientos, prácticas y tecnologías, tradicionales o nuevas que permitan la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del territorio nacional;
- Proteger poblados, vías de comunicación, instalaciones industriales y aprovechamientos agrícolas, mediante zonas forestales en montañas donde se originen torrentes; el ciclo hidrológico en cuencas, así como las demás que tiendan a la protección de elementos circundantes con los que se relacione ecológicamente el área; y
- Proteger los entornos naturales de zonas, monumentos y vestigios arqueológicos, históricos y artísticos, así como zonas turísticas, y otras áreas de importancia para la recreación, la cultura e identidad nacionales y de los pueblos indígenas.

En materia de preservación y aprovechamiento sustentable del suelo y sus recursos, la LGEEPA establece varios criterios aplicables:

- El uso del suelo debe ser compatible con su vocación natural y no debe alterar el equilibrio de los ecosistemas.
- El uso de los suelos debe hacerse de manera que éstos mantengan su integridad física y su capacidad productiva.
- Los usos productivos del suelo deben evitar prácticas que favorezcan la erosión, degradación o modificación de las características topográficas, con efectos ecológicos adversos.
- En las acciones de preservación y aprovechamiento sustentable del suelo, deberán considerarse las medidas necesarias para prevenir o reducir su erosión, deterioro de las propiedades físicas, químicas biológicas del suelo y la pérdida duradera de la vegetación natural.

4.9.2. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) define los criterios de la política forestal y establece indicadores para el manejo forestal sustentable. Sus principales objetivos son contribuir al desarrollo social, económico, ecológico y ambiental del país, mediante el manejo integral sustentable de los recursos forestales; impulsar la silvicultura y el aprovechamiento de los recursos forestales, para que contribuyan con bienes y servicios que aseguren el mejoramiento del nivel de vida de los mexicanos, especialmente el de los propietarios y pobladores forestales; y desarrollar los bienes y servicios ambientales y proteger, mantener y aumentar la biodiversidad que brindan los recursos forestales.

Los objetivos generales de esta Ley son:

- Contribuir al desarrollo social, económico, ecológico y ambiental del país, mediante el manejo integral sustentable de los recursos forestales, así como de las cuencas y ecosistemas hidrológico-forestales, sin perjuicio de lo previsto en otros ordenamientos;
- Impulsar la silvicultura y el aprovechamiento de los recursos forestales, para que contribuyan con bienes y servicios que aseguren el mejoramiento del nivel de vida de los mexicanos, especialmente el de los propietarios y pobladores forestales;
- Desarrollar los bienes y servicios ambientales y proteger, mantener y aumentar la biodiversidad que brindan los recursos forestales;
- Promover la organización, capacidad operativa, integralidad y profesionalización de las instituciones públicas de la Federación, Estados, Ciudad de México y Municipios, para respetar el derecho al uso y disfrute preferente de los recursos forestales de los lugares que ocupan y habitan las comunidades indígenas, en los términos del artículo 2 fracción VI de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y demás normatividad aplicable.

Algunos de los objetivos específicos de la LGDFS que son relevantes para la protección de los ecosistemas son:

- Definir los criterios de la política forestal, describiendo sus instrumentos de aplicación y evaluación;
- Regular la protección, conservación y restauración de los ecosistemas y recursos forestales, así como la ordenación y el manejo forestal;
- Desarrollar criterios e indicadores para el manejo forestal sustentable;
- Fortalecer la contribución de la actividad forestal a la conservación del medio ambiente y la preservación del equilibrio ecológico;
- Coadyuvar en la ordenación y rehabilitación de las cuencas hidrológicas forestales;
- Regular el aprovechamiento y uso de los recursos forestales maderables y no maderables;
- Promover y consolidar las áreas forestales permanentes, impulsando su delimitación y manejo sostenible, evitando que el cambio de uso de suelo con fines agropecuarios o de cualquier otra índole afecte su permanencia y potencialidad;
- Compatibilizar las actividades de pastoreo y agrícolas en terrenos forestales y preferentemente forestales;

- Regular las auditorías técnicas preventivas forestales;
- Estimular las certificaciones forestales y de bienes y servicios ambientales, tomando en consideración los lineamientos internacionales correspondientes;
- Regular la prevención, combate y control de incendios forestales, así como de las plagas y enfermedades forestales;
- Promover que los productos forestales procedan de bosques manejados sustentablemente a través de la certificación forestal;
- Propiciar la productividad en toda la cadena forestal;
- Apoyar la organización y desarrollo de los propietarios forestales y a mejorar sus prácticas silvícolas;
- Regular el fomento de actividades que protejan la biodiversidad de los bosques productivos mediante prácticas silvícolas más sustentables;
- Promover acciones con fines de conservación y restauración de suelos;
- Contribuir al desarrollo socioeconómico de los pueblos y comunidades indígenas, así como de ejidatarios, comuneros, cooperativas, pequeños propietarios y demás poseedores de recursos forestales;
- Promover la capacitación para el manejo sustentable de los recursos forestales;
- Desarrollar y fortalecer la capacidad institucional en un esquema de descentralización, desconcentración y participación social;
- Dotar de mecanismos de coordinación, concertación y cooperación a las instituciones del sector forestal, así como con otras instancias afines;
- Impulsar el desarrollo de la empresa social forestal y comunal en los pueblos y comunidades indígenas.

Los objetivos generales y específicos de la Ley permiten afirmar que existe un marco legal sólido que contiene los elementos fundamentales para el uso sustentable de los recursos y la protección de los ecosistemas forestales.

Por otra parte, en la LGDFS se incluyen criterios obligatorios de política forestal de carácter social, ambiental, silvícola y económico, que deben ser aplicados en los instrumentos programáticos y en todas las acciones del sector público forestal federal, así como de entidades federativas y municipios.

De acuerdo con la LGDFS es posible el cambio de uso del suelo de terrenos forestales, ya que la Ley permite la emisión de autorizaciones por excepción, con base en estudios técnicos justificativos que demuestren que:

- No se compromete la biodiversidad;
- No se provocará la erosión de los suelos, el deterioro de la calidad del agua o la disminución de su captación; y
- Que los usos alternativos del suelo que se propongan sean más productivos a largo plazo.

4.9.3. Ley General de Vida Silvestre

La Ley General de Vida Silvestre (LGVS) tiene como propósito establecer la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de los estados y de los municipios en cuanto a la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat en el territorio de la República Mexicana. Define también que el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales maderables y no maderables será regulado por la ley forestal.

Este instrumento dispone obligaciones en materia de conservación y aprovechamiento de la vida silvestre relativas a la participación de autoridades, ejidos y comunidades en estas actividades y en las de capacitación, formación, investigación y divulgación. Sin embargo, las disposiciones señaladas tienen un carácter más general que las de la LGEEPA y refieren en buena medida a la aplicación de normas oficiales mexicanas.

Destaca en esta Ley la creación y descripción de las características del Subsistema Nacional de Información sobre la Vida Silvestre, incluyendo la información relevante sobre los hábitats críticos y áreas de refugio para proteger especies acuáticas, que se vincula con la determinación de los hábitats naturales críticos (HNC) de este proyecto.

También relacionado con los HNC la LGVS establece la promoción e impulso de la conservación y protección de las especies y poblaciones en riesgo, por medio del desarrollo de proyectos de conservación y recuperación, el establecimiento de medidas especiales de manejo y conservación de hábitats críticos.

Asimismo, la LGVS prohíbe la remoción, relleno, trasplante, poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integralidad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia; de su productividad natural; de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos; de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje; o bien de las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos. Se exceptúan de la prohibición las obras o actividades que tengan por objeto proteger, restaurar, investigar o conservar las áreas de manglar.

De acuerdo con la Ley, la conservación del hábitat natural de la vida silvestre es de interés público y define estos hábitats y los mecanismos para su establecimiento, así como las medidas especiales de manejo, mitigación de impactos y conservación que se requieran para estos hábitats con los propietarios y legítimos poseedores de los predios en los que se ubiquen estos hábitats.

4.9.4. Ley de Desarrollo Rural Sustentable

La Ley de Desarrollo Rural Sustentable (LDRS) define a éste como el mejoramiento integral del bienestar social de la población y de las actividades económicas en el territorio comprendido fuera de los núcleos considerados urbanos, de acuerdo con las disposiciones aplicables,

asegurando la conservación permanente de los recursos naturales, la biodiversidad y los servicios ambientales de dicho territorio.

De conformidad con la LFDRS el desarrollo rural sustentable es de interés público e incluye la planeación y organización de la producción agropecuaria, su industrialización y comercialización, y de los demás bienes y servicios, y todas aquellas acciones tendientes a la elevación de la calidad de vida de la población rural.

Este ordenamiento establece además criterios de prioridad para el otorgamiento de apoyos a quienes se ajusten a los criterios de sustentabilidad de la ley y establecen objetivos de compatibilidad de las acciones productivas que se realicen en terrenos forestales o en hábitats naturales críticos.

4.9.5. Ley de Aguas Nacionales

De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales, la autoridad y administración en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes corresponde al Ejecutivo Federal, quien la ejercerá directamente o a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

La Ley de Aguas Nacionales contiene disposiciones de orden público e interés social que se ejercen a través de la CONAGUA en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, y que sientan las bases para:

- Establecer y hacer cumplir las condiciones particulares de descarga.
- Exigir un permiso para descargar aguas residuales en cuerpos receptores del dominio público.
- Ordenar la suspensión de actividades cuando: (i) no se cuente con el permiso de descarga; (ii) no se cumpla con la norma oficial mexicana correspondiente o con las condiciones particulares de descarga; (iii) se deje de pagar el derecho por el uso del bien público y (iv) se utilice el proceso de dilución.
- Realizar las obras necesarias cuando exista riesgo de daño para la población o para el ecosistema, con cargo a quien resulte responsable.
- Infraccionar e imponer sanciones.

4.9.6. Ley Federal de Metrología y Normalización

La Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN) dispone sobre la elaboración de normas oficiales mexicanas de carácter obligatorio para productos y procesos, cuando éstos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal o vegetal, el medio ambiente general y laboral, o para la preservación de los recursos naturales.

De acuerdo con la ley, corresponde a las dependencias según su ámbito de competencia:

- Contribuir en la integración del Programa Nacional de Normalización con las propuestas de normas oficiales mexicanas;
- Expedir normas oficiales mexicanas en las materias relacionadas con sus atribuciones y determinar su fecha de entrada en vigor; y
- Certificar, verificar e inspeccionar que los productos, procesos, métodos, instalaciones, servicios o actividades cumplan con las normas oficiales mexicanas.

Las normas oficiales mexicanas tendrán como finalidad establecer:

- Las características y/o especificaciones que deban reunir los productos y procesos cuando éstos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal o vegetal, el medio ambiente general y laboral, o para la preservación de recursos naturales;
- Las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales; y
- Las características y/o especificaciones que deben reunir los equipos, materiales, dispositivos e instalaciones industriales, comerciales, de servicios y domésticas para fines sanitarios, acuícolas, agrícolas, pecuarios, ecológicos, de comunicaciones, de seguridad o de calidad y particularmente cuando sean peligrosos.

4.9.7. Ley de Productos Orgánicos

La Ley de Productos Orgánicos tiene por objeto:

- Promover y regular los criterios y/o requisitos para la conversión, producción, procesamiento, elaboración, preparación, acondicionamiento, almacenamiento, identificación, empaque, etiquetado, distribución, transporte, comercialización, verificación y certificación de productos producidos orgánicamente;
- Establecer las prácticas a que deberán sujetarse las materias primas, productos intermedios, productos terminados y subproductos en estado natural, semiprocesados o procesados que hayan sido obtenidos con respeto al medio ambiente y cumpliendo con criterios de sustentabilidad;
- Promover que en los métodos de producción orgánica se incorporen elementos que contribuyan a que este sector se desarrolle sustentado en el principio de justicia social;
- Establecer los requerimientos mínimos de verificación y Certificación orgánica para un Sistema de control, estableciendo las responsabilidades de los involucrados en el proceso de Certificación para facilitar la producción y/o procesamiento y el comercio de productos orgánicos, a fin de obtener y mantener el reconocimiento de los certificados orgánicos para efectos de importaciones y exportaciones;
- Promover los sistemas de producción bajo métodos orgánicos, en especial en aquellas regiones donde las condiciones ambientales y socioeconómicas sean propicias para la actividad o hagan necesaria la reconversión productiva para que contribuyan a la

recuperación y/o preservación de los ecosistemas y alcanzar el cumplimiento con los criterios de sustentabilidad;
- Permitir la clara identificación de los productos que cumplen con los criterios de la producción orgánica para mantener la credibilidad de los consumidores y evitar perjuicios o engaños;
- Establecer la lista nacional de substancias permitidas, restringidas y prohibidas bajo métodos orgánicos, así como los criterios para su evaluación, y
- Crear un organismo de apoyo a la Secretaría donde participen los sectores de la cadena productiva orgánica e instituciones gubernamentales con competencia en la materia, quien fungirá como Consejo asesor en la materia.

4.9.8. Reglamentos

Algunas de las leyes mencionadas en los apartados previos disponen de reglamentos aplicables a la protección de ecosistemas:

A. Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.
B. Reglamento de la LGEEPA en materia de Áreas Naturales Protegidas.
C. Reglamento de la LGEEPA en materia de Autorregulación y Auditorías Ambientales.
D. Reglamento de la LGEEPA en materia de Ordenamiento Ecológico del Territorio.
E. Reglamento de la LGDFS.
F. Reglamento de la LGVS.
G. Reglamento de la LDRS.
H. Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.
I. Reglamento de la LFMN.
J. Reglamento de la Ley de Productos Orgánicos.

4.9.9. Normas oficiales mexicanas

Existen diversas normas oficiales mexicanas en materia ambiental que han sido promulgadas para contribuir a la protección de los ecosistemas y de la biodiversidad que albergan, regular los procesos de aprovechamiento de los recursos forestales tanto maderables como no maderables, establecer procedimientos sanitarios para el control de plagas que afectan a los ecosistemas de bosques y selvas, y fijar salvaguardas de actividades que pudieran incidir negativamente sobre los ecosistemas forestales.

Las normas oficiales mexicanas más relevantes relacionadas con la gestión de los recursos naturales se listan en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Normas Oficiales Mexicanas relevantes para la protección de ecosistemas.

NOMBRE	MATERIA Y ALCANCE	FECHA DE PUBLICACIÓN (1)
NOM-001-SEMARNAT-1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.	1996
NOM-005-SEMARNAT-1997	Establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de corteza, tallos y plantas completas de vegetación forestal.	20-mayo-1997
NOM-006-SEMARNAT-1997	Establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de hojas de palma.	28-mayo-1997
NOM-007-SEMARNAT-1997	Establece los procedimientos, criterios y especificaciones realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de ramas, hojas o pencas, flores, frutos y semillas.	30-mayo-1997
NOM-008-SEMARNAT-1996	Establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos.	24-junio-1996
NOM-009-SEMARNAT-1996	Establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de látex y otros exudados de vegetación forestal.	26-junio-1996
NOM-010-SEMARNAT-1996	Establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de hongos.	28-mayo-1996
NOM-011-SEMARNAT-1996	Establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de musgo, heno y doradilla.	26-junio-1996
NOM-012-SEMARNAT-1996	Establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de leña para uso doméstico.	26-junio-1996
NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007	Establece las especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario.	16-ene-2009
NOM-019-SEMARNAT-2006	Establece los lineamientos técnicos de los métodos para el combate y control de insectos descortezadores.	23-julio-2008
NOM-020-SEMARNAT-2001	Establece los procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo.	10-dic-2001

Tabla 4.6. (continuación) Normas Oficiales Mexicanas relevantes para la protección de ecosistemas.

NOMBRE	MATERIA Y ALCANCE	FECHA DE PUBLICACIÓN (1)
NOM-022-SEMARNAT-2003	Establece las especificaciones para la preservación, conservación y restauración de los humedales costeros.	10-abril-2003
NOM-025-SEMARNAT-1995	Establece las características que deben tener los medios de marqueo de la madera en rollo, así como los lineamientos para su uso y control.	01-dic-1995
NOM-026-SEMARNAT-2005	Establece los criterios y especificaciones técnicas para realizar el aprovechamiento comercial de resina de pino.	28-sep-2006
NOM-027-SEMARNAT-1996	Establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de tierra de monte.	05-junio-1996
NOM-028-SEMARNAT-1996	Establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de raíces y rizomas de vegetación forestal.	24-junio-1996
NOM-059-SEMARNAT-2010	Establece las especies nativas de México de flora y fauna silvestres con categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio.	06-mar-2002
NOM-060-SEMARNAT-1994	Establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal.	13-mayo-1994
NOM-061-SEMARNAT-1994	Establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en la flora y fauna silvestres por el aprovechamiento forestal.	13-mayo-1994
NOM-062-SEMARNAT-1994	Establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad, ocasionados por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios.	13-mayo-1994
NOM-142-SEMARNAT-2003	Establece los lineamientos técnicos para el combate y control del psílido del eucalipto *Glycaspis brimblecombei* Moore.	6-enero-2004
NOM-144-SEMARNAT-2004	Establece las medidas fitosanitarias reconocidas internacionalmente para el embalaje de madera, que se utiliza en el comercio internacional de bienes y mercancías.	18-enero-05
NOM-152-SEMARNAT-2006	Establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas.	17-oct-06

(1): Fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación

Complementariamente, existe una Norma Mexicana específica para el ecoturismo (NMX-AA-133-SCFI-2006), que establece requisitos y especificaciones de sustentabilidad para la actividad, la aplicación es voluntaria.



Actividad 4.12
Cuestionario Ingeniería y Principios de Ecología

Después de leer el siguiente libro, contestar el cuestionario propuesto.

-Ficha catalográfica: Vázquez Yanes, Carlos y Alma Orozco Segovia

La destrucción de la naturaleza/Carlos Vázquez Yanes y Alma Orozco Segovia—3ª ed. - - México: FCE, SEP, CONACyT, 2002. 102 pp.: ilus.; 21 x 14 cm—(Colec. LA CIENCIA PARA TODOS) 1. Biología 2. Ecología LC QH541 V38Dewey508.2 C569 v.83

4.10 Preguntas y actividades propuestas

Sucesión ecológica

- ¿Qué se entiende por sucesión natural de un ecosistema?

Asociaciones bióticas naturales

- ¿Qué constituye un ecosistema? Proporciona ejemplos de cinco diferentes tipos de los ecosistemas de México.

Cadenas y niveles tróficos

- Describe brevemente dos procesos metabólicos fundamentales de los organismos vivos.
- ¿Cuál es la diferencia entre un organismo autótrofo y uno heterótrofo?
- ¿Cuál es la diferencia entre fermentación y putrefacción?
- ¿Cuál es la diferencia entre descomposición aerobia y anaerobia?

Flujo de masa

- Explica con tus propias palabras, con ejemplos no empleados en este libro, la diferencia entre cadena trófica y red trófica.
- Elaborar un esquema que ilustre los dos principios básicos de la ecología.
- Definir bioacumulación y citar dos ejemplos; ¿por qué los humanos son vulnerables a los efectos de la bioacumulación?

Ciclos de nutrientes

- Dibujar esquemas de los ciclos biogeoquímicos de dos macronutrientes diferentes.
- Discutir el efecto de las actividades humanas en el ciclo del nitrógeno.
- Realiza una investigación sobre un biocombustible en particular y argumenta sobre su relación con el ciclo del carbono y sobre los impactos que el biocombustible seleccionado causa a la calidad del agua, a la disponibilidad de alimento, a la biodiversidad y a la calidad del aire.

Organismos en las diferentes zonas de los ecosistemas lénticos

- ¿Qué son el plancton y qué rol desempeñan en la red trófica acuática?

Rareza de las especies

- ¿Por qué es importante la diversidad de especies para un ecosistema?

Actividad 4.1
Ecosistemas de México: extensión y distribución

Instrucciones de la actividad:

Ve el video Ecosistemas de México que se encuentra en la siguiente liga: https://youtu.be/n0cbfMk1aEI, luego analiza la tabla siguiente en donde aparecen celdas vacías. Ve por segunda vez el video, pausándolo para completar la tabla, y contesta las preguntas.

Ecosistema	Lo que hubo, km^2	Lo que hay, km^2	Porcentaje de pérdida	Superficie actual (km^2)		
				Conservada	Deteriorada	% con deterioro
Matorrales			15.19			8.07
Bosques templados			26.45			34.44
Selvas secas			36.44			56.97
Selvas húmedas			40.54			73.54
Pastizales			36.63			38.53
Bosques nublados			40.90			52.36
Manglares			40.60	---	---	---
Total						

1. Investiga cuál es la extensión total del territorio nacional en km^2.
2. ¿Qué porcentaje del territorio nacional abarcaban los ecosistemas de la tabla y qué porcentaje abarcan aproximadamente en la actualidad?
3. ¿Qué porcentaje de la extensión territorial total que abarcaban los ecosistemas de México se ha perdido y a qué superficie corresponde en km^2?
4. ¿Qué nuevo(s) uso(s) del suelo supones que existe(n) actualmente en las superficies donde se eliminaron los ecosistemas de la tabla?
5. Observando los valores de la tabla, ¿qué ecosistema supones que podría estar en riesgo de desaparecer próximamente en el territorio nacional, y en qué basas tu suposición?

Actividad 4.2
Manglares de México

Instrucciones de la actividad:

Ve los videos Manglares (Video 1, duración 00:02:42, https://youtu.be/JSnC_HV9yL0) y Manglares de México. Extensión, distribución y monitoreo (Video 2, duración (00:04:17, https://youtu.be/_ZK1rHjuNNw), luego vuelve a verlos pausándolos para contestar las siguientes preguntas. Algunas preguntas requieren consultar la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.

1. De acuerdo con el Video 1, ¿qué es un manglar?
2. De acuerdo con la NOM-022-SEMARNAT-2003, ¿cuál es la definición de manglar?
3. De acuerdo con la NOM-022-SEMARNAT-2003, ¿cuál es la definición de humedal costero?
4. De lo expuesto en el Video 1, ¿cuáles son los nombres comunes de las principales especies de manglar en México?
5. De acuerdo con la NOM-022-SEMARNAT-2003, ¿cuáles son los nombres científicos de las principales especies de manglar en México?
6. ¿Las metas de manejo de los humedales costeros son locales, regionales o globales y por qué?
7. Menciona al menos cinco motivos por los que es tan importante la preservación de los humedales costeros en zonas de manglar.
8. De acuerdo con los videos 1 y 2, ¿cuáles son los impactos de las actividades humanas en los manglares de México?

Actividad 4.3
Convención Minamata sobre el Mercurio

Instrucciones de la actividad:

Ve el video La Convención Minamata sobre el Mercurio que se encuentra en la siguiente liga: https://youtu.be/ZlWtGpiYJvE y con ayuda del Informe: El Convenio de Minamata sobre el Mercurio y su implementación en la región de América Latina y el Caribe, responde las siguientes preguntas:

1. ¿Por qué el mercurio representa una amenaza al ambiente?
2. ¿Cómo afecta el mercurio a la salud?
3. ¿Cuáles son las principales vías de acceso del mercurio a los ecosistemas acuáticos?
4. ¿Cómo intervienen los microorganismos de los ecosistemas acuáticos para incrementar el impacto del mercurio?
5. ¿Cuál es el objetivo del Convenio de Minamata?
6. En América Latina y el Caribe, ¿cuál es la actividad humana con mayor aporte a la emisión total de mercurio y cuánto se liberó a los sistemas acuáticos en 2010?
7. ¿Qué participación tiene México en el comercio del mercurio?

Actividad 4.4
Cambio climático y mosquitos

Instrucciones de la actividad:

Ve el video Mosquitos Genéticamente Modificados. (https://youtu.be/X_6Mse4BAig)

Lee el artículo Ecology: A world without mosquitoes. (http://bit.ly/30QuYj9)

Considerando la información mostrada en el video y en el artículo responde a las siguientes preguntas.

1. ¿Por qué los mosquitos son considerados la mayor amenaza animal?
2. Cita las principales enfermedades transmitidas a los seres humanos por los mosquitos.
3. ¿Qué efectos ha provocado el cambio climático en el comportamiento de estos seres vivos?
4. ¿En qué consiste la técnica desarrollada por la empresa OXITEC para el control de plagas de mosquitos?
5. De acuerdo con el artículo A world without mosquitoes, elabora una tabla de impactos positivos y negativos que traería consigo la exterminación de los mosquitos.

Actividad 4.5
Malezas acuáticas

Instrucciones de la actividad:

Ve el video Control integral del lirio acuático que se encuentra en la siguiente liga https://youtu.be/NlTlkASzYkE y contesta las siguientes preguntas. Se requiere la consulta de otras fuentes de información.

1. ¿En qué caso se considera a las plantas acuáticas como malezas?
2. Menciona las consecuencias de la presencia de maleza acuática en el funcionamiento de la infraestructura hidráulica para riego.
3. Por otra parte, menciona las consecuencias de la maleza acuática para el aprovechamiento del agua por los usuarios.
4. ¿Cómo afecta la presencia de maleza acuática a la disponibilidad del agua para los usos pretendidos?
5. Lista los métodos que se han aplicado para el control de la maleza acuática.
6. De los métodos mencionados en la respuesta anterior, ¿cuál consideras que causa impactos significativos a la calidad del agua y al ecosistema en general y por qué?
7. ¿A qué se debe la proliferación del lirio acuático en México?
8. ¿En qué consiste el método de control biológico?
9. ¿En qué consiste el control biológico que se expone en el video?
10. ¿Qué establece la Ley de Liebig del Mínimo y explica cómo puede aplicarse para controlar la maleza acuática?
11. ¿Cuál es o cuáles son generalmente considerado(s) nutriente(s) limitante(s) primario(s) para las algas y plantas vasculares en ecosistemas acuáticos y explica a qué se debe?
12. Redacta tus propias reflexiones sobre las causas de la eutrofización, y las medidas que se han usado para controlar las consecuencias exponiendo cuál sería en tu opinión la estrategia más adecuada.

Actividad 4.6 COP13 de Diversidad Biológica, México 2016
A partir del video elabore un mapa conceptual. Instrucciones: 1. Ver el video que se encuentra en la siguiente liga: https://youtu.be/5Z8ZinmkGZ8 2. Identificar los conceptos clave generales (mínimo 5 y máximo 10), 3. Jerarquizar los conceptos clave (concepto general, conceptos subordinados). ubicar a la izquierda el general y los subordinados a la derecha. 4. Establecer al menos tres niveles de relaciones entre los conceptos clave (utilizar líneas para unir conceptos), 5. Emplear conectores entre conceptos a través del uso de palabras de enlace, símbolos y flechas para indicar la direccionalidad de las relaciones.

Actividad 4.7
Aprender a proteger la Biodiversidad

Instrucciones de la actividad:

1. Ve el video Aprender a proteger la Biodiversidad que se encuentra en la siguiente liga: https://youtu.be/oxa8eBsX6lU
2. Organiza las ideas en una tabla con tres columnas, cuyos títulos serán: positivo, negativo e interesante.
3. Como conclusión del llenado de la tabla, expresa tus reflexiones sobre cómo puedes contribuir a promover la biodiversidad como universitario y, más adelante, en tu vida profesional como ingeniero civil.

Positivo	Negativo	Interesante

Actividad 4.8
Pérdida de Biodiversidad

Instrucciones de la actividad:

Ve el video Entrevista con el Profesor José Sarukhan Kermez.
Considerando las respuestas del Profesor Sarukhan a las seis preguntas de la entrevista organiza las ideas en un cuadro con tres columnas, cuyos títulos serán: positivo, negativo e interesante.

Positivo	Negativo	Interesante

Video:
Dr. José Sarukhán Kermez
¿Por qué nos debe preocupar la pérdida de biodiversidad?
https://youtu.be/z2FHJGKfsSU

Actividad 4.9
Praderas

Instrucciones:

A manera de introducción ver el siguiente video
(Video modificado y basado en el titulado: "Manejo de praderas", Instituto Mexicano de Tecnología del agua): https://youtu.be/FoeD2GU-Yz8

Después de haber visto el video y con ayuda de otros recursos, responder las siguientes cuestiones.

1. Explica en qué difiere la producción moderna de carne (ganadería intensiva) de la producción tradicional en campo abierto (ganadería extensiva). ¿En cuál método se aprovecha con mayor eficiencia la luz solar para producir carne? ¿Por qué razón? ¿Cuál es más eficiente en la utilización del consumo total de energía para producir la carne? ¿Por qué?

2. ¿Cuáles son los principales tipos de pasto que se utilizan en México para llevar a cabo el pastoreo del ganado?

3. Menciona los métodos utilizados para el control de maleza y de plagas e identifica los impactos positivos y negativos que tiene cada uno en el ecosistema.

Control de Maleza	Control de Plagas

4. Imagínate que observas el siguiente anuncio en un centro de implementos agrícolas: "VENTA: fertilizantes a base de oxígeno y carbono. Este fertilizante es todo el oxígeno y el carbono que necesitan sus plantas ¡Garantizado! Sólo $ 500.00 la bolsa de 50 kg." ¿Consideras que sería una buena compra? ¿Por qué sí o por qué no?

5. Valora las ventajas y los inconvenientes del uso del estiércol como fertilizante.

Ventajas	Desventajas

6. ¿Consideras que debería usarse estiércol para fertilizar los cultivos?

Libro:
Amos Turk, Janet T. Wittes, et al.
"Tratado de ecología"
Nueva Editorial Interamericana, México, 1981
2° Edición

Actividad 4.10
Plagas

Instrucciones de la actividad:

1. Lee el capítulo 12 "*Control de plaga y de mala hierba"* del libro *Tratado de ecología.*
2. Con base en la lectura anterior, responde a las siguientes preguntas.

1. ¿Cuáles son los efectos perjudiciales y los beneficios que los insectos le produjeron al hombre?

Efectos benéficos	Efectos perjudiciales

2. ¿Cómo se protegía el hombre de las plagas antes de la producción de los plaguicidas modernos (inclusión del DDT)?

3. Explica por qué con el tiempo se hace necesario utilizar cantidades mayores de determinado plaguicida para conseguir los mismos resultados.

4. Se ha observado que los plaguicidas son más nocivos para los depredadores que para las plagas que están destinados a combatir. ¿Qué factores podrían explicar esta selectividad?

5. Explica por qué algunas veces un plaguicida puede dañar a un ecosistema aún después que se ha descompuesto el material original.

6. Explica por qué los peces carnívoros suelen ser más sensibles a niveles bajos de plaguicidas en el agua que los peces herbívoros.

7. Al estudiar las poblaciones de la fauna antes y después de una fumigación intensa, un empleado del gobierno dictaminó que, puesto que ningún animal había sido matado directamente, la fumigación había sido innocua. ¿Está en lo correcto? Explica

8. ¿Qué métodos de control de plagas pueden reemplazar al uso de plaguicidas?

9. Cuando se utilizan depredadores de insectos para controlar una plaga, no conviene aniquilar completamente a la población en una zona dada. Explica el motivo.

10. Describe brevemente algunos de los problemas similares que plantea el uso de herbicidas y de insecticidas.

Actividad 4.11
Rally de identificación de impactos en el medio natural del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México

Introducción

Resulta difícil imaginar que, en el espacio de la actual Ciudad de México, ahora ocupado por una interminable capa de asfalto, hace solo unos cientos de años se encontraba un extenso lago –en realidad varios-, a cuya vera nuestros más antiguos ancestros transitaron hace decenas de miles de años, ocupados en la caza y recolección de animales y plantas. La cuenca que albergaba ese sistema de lagos era de considerables dimensiones; abarcaba alrededor de 7000 km2, de los cuales cerca de 1000 correspondían a lagos y pantanos. Tres de esos lagos, los de Xaltocan, Zumpango y Texcoco, eran salados, mientras que los de Chalco y Xochimilco eran de agua dulce.

Hace alrededor de 4000 años -gracias a la adopción de la agricultura como medio de subsistencia principal- surgieron las primeras aldeas; desde entonces la zona fue habitada ininterrumpidamente por grupos que rápidamente alcanzaron elevados niveles de complejidad y construyeron ciudades que se contaron entre las más grandes y renombradas de su época. Los pobladores de la Cuenca de México fueron capaces no solo de explotar con eficiencia el lago y las montañas que lo rodeaban, también aprovecharon manantiales y ríos y desarrollaron ingeniosos sistemas de cultivo. Asimismo, fueron capaces de realizar obras de ingeniería que les permitían controlar las aguas del lago y abastecer de agua dulce a sus ciudades. La expansión de la zona urbana no sólo ha dado al traste con aquel extraordinario ambiente, también ha provocado la destrucción de los vestigios prehispánicos.

Para 1000 a.C., en la etapa conocida como Preclásico (2500 a.C.- 200 d.C.), se habían desarrollado la agricultura y la alfarería, lo cual propició el surgimiento de las primeras grandes aldeas. Se incrementó la ocupación de tierras fértiles y se dio un marcado crecimiento demográfico. En el Preclásico Tardío (400 a.C. – 200 d.C.) surgen las primeras poblaciones de gran tamaño, Cuicuilco y Teotihuacán, en las que se establecieron las bases del desarrollo de las ciudades del Clásico. En su apogeo, Cuicuilco llegó a contar con alrededor de 20 000 habitantes.

Objetivo del Rally

Identificar y describir principalmente los impactos sobre el medio natural, causados por la propia naturaleza y los impactos causados por la actividad humana, en los últimos 2000 años, en la zona que actualmente ocupa la Ciudad Universitaria de la UNAM y en sus inmediaciones, a través de un recorrido por 6 estaciones definidas de acuerdo con los procesos ecológicos que se pueden apreciar.

Reglas del Rally

I. Se formarán equipos integrados por dos o tres alumnos como máximo.
II. Se debe realizar el Rally en la secuencia establecida.
III. En cada estación, el equipo debe tomarse una fotografía en donde al menos aparezca un integrante, si es equipo de dos personas, o dos integrantes, si es equipo de tres personas.
IV. Se proporcionan mapas para usarlos en el recorrido de las estaciones, pero se pueden emplear mapas obtenidos por el equipo, de acuerdo con las actividades de cada estación.
V. El informe se elaborará considerando la secuencia de las estaciones, con las figuras y fotografías solicitadas en las actividades y preguntas.

Estación 1. Zona arqueológica de Cuicuilco

Materiales: brújula, cámara digital, mapa que muestre los rasgos geográficos de la zona Sur de la Cuenca de México en la etapa conocida como Preclásico (2500 a.C.- 200 d.C.), mapa de la Ciudad de México que muestre la zona Sur de la Cuenca de México en la actualidad.

Actividad 4.11
Rally de identificación de impactos en el medio natural del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México

Actividades:

1. Subir al último cuerpo de la pirámide (Gran Basamento Circular).
2. Apoyándose en el mapa del preclásico (Figura 1), tomar una fotografía hacia cada punto cardinal.
3. Ubicar en la zona montañosa el Cerro del Ajusco y el Volcán Xitle, localizarlos en el mapa y tomar una fotografía de estas elevaciones.

Preguntas:

1. ¿Hacia qué punto cardinal se localizaba el lago?
2. ¿Qué existe en la actualidad en la zona donde se hallaba el lago?
3. ¿Qué nombre tenía el lago y por qué desapareció?
4. ¿Qué tipo de ecosistemas existían en los alrededores del núcleo urbano de Cuicuilco hacia antes del año 100 d.n.e.?
5. ¿Aproximadamente en qué año fue abandonado el núcleo urbano de Cuicuilco y cuál fue la causa?

Considerando la época moderna:

6. Describa los rasgos urbanos que se ubican en las fotografías tomadas hacia los cuatro puntos cardinales.
7. Observar las Figuras 3 y 4 e identificar los impactos que probablemente causaron las vialidades y edificios construidos en la zona.
8. En 1845 se fundó la fábrica de papel Peña Pobre en el terreno adyacente a la zona arqueológica de Cuicuilco. ¿Qué impactos es probable que causara dicha fábrica en las inmediaciones entre 1845 y 1987 en que dejó de operar?
9. ¿Qué acontecimientos urbanos en las inmediaciones de la zona arqueológica de Cuicuilco es posible que detonaran la expansión hacia esta zona de la Ciudad y en qué años ocurrieron? Aproximadamente, ¿qué áreas fueron alteradas por el cambio de uso de suelo?

Estación 2. Gaza de Av. Insurgentes enfrente del edificio de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)

Materiales: cámara digital, mapa de la Ciudad de México que muestre la zona Sur de la Cuenca de México en la actualidad.

Actividades:

1. Observar y tomar fotografías de las condiciones actuales del sitio, del cual fue extraído todo el material de relleno. Se pueden visitar otros lugares de la gaza para observar el relleno que todavía existe.

Preguntas:

Actividad 4.11
Rally de identificación de impactos en el medio natural del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México

2. Explicar el proceso ecológico que se está presentando en el sitio después del disturbio causado por el relleno de material.
3. Describir las etapas sucesivas por las que pasa una comunidad que se encuentra en este proceso, ¿cómo se denomina a dichas etapas?
4. Explicar en qué etapa es posible que se encuentre la comunidad del sitio y describa la comunidad.
5. ¿Sería pertinente efectuar acciones de restauración semejantes a las de la estación 2 en otras áreas de la zona sur de la Cuenca de México? Especificar.

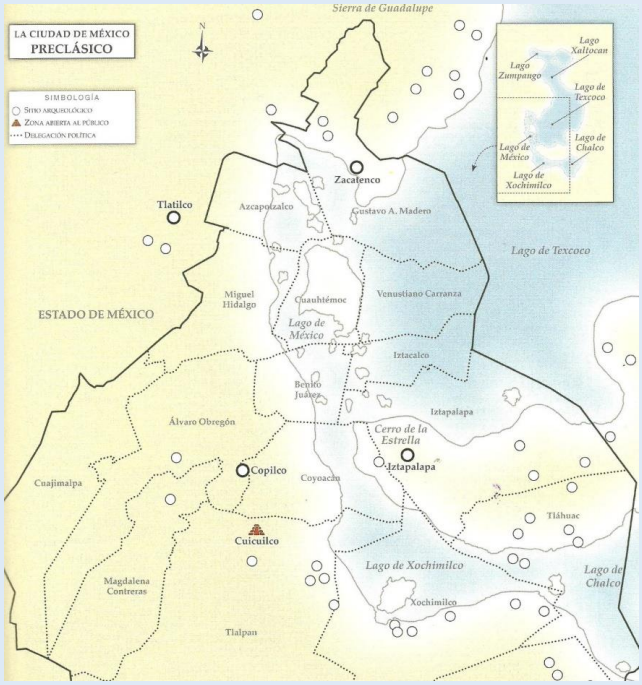


Figura 1. Ubicación del núcleo urbano de Cuicuilco y de los lagos de la Cuenca de México en relación con la actual división política de la Ciudad de México (Fuente: Arqueología Mexicana, Edición Especial, diciembre de 2009, No. 33)

Actividad 4.11
Rally de identificación de impactos en el medio natural del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México



Figura 2. Ubicación de vías de comunicación y sitios de interés en relación con los lagos de la Cuenca de México y el núcleo urbano de Cuicuilco (Fuente: Arqueología Mexicana, Edición Especial, diciembre de 2009, No. 33).

Actividad 4.11
Rally de identificación de impactos en el medio natural del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México

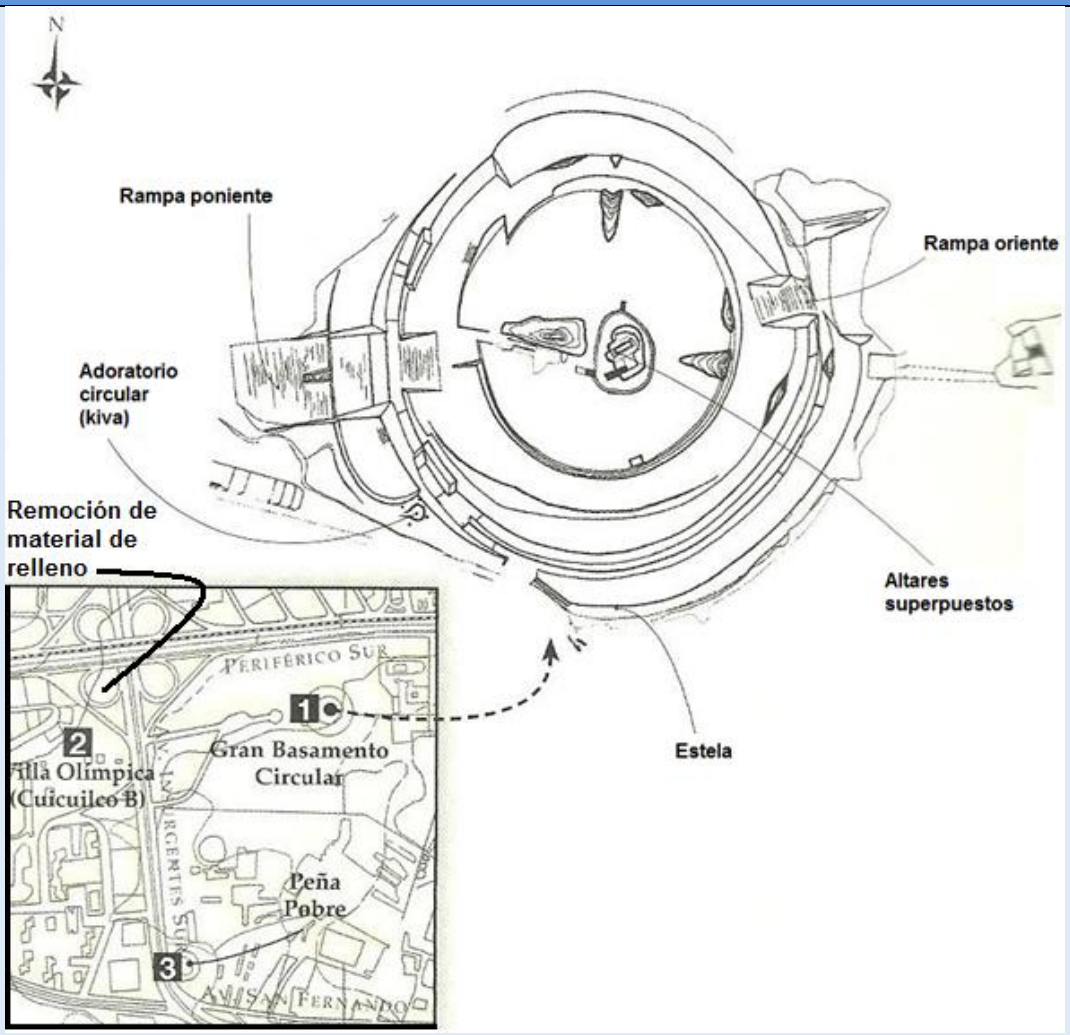


Figura 3. Detalles del Gran Basamento Circular y localización de las principales estructuras de la zona arqueológica (2 y 3) (Fuente: Arqueología Mexicana, Edición Especial, diciembre de 2009, No. 33).

Actividad 4.11
Rally de identificación de impactos en el medio natural del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México



Figura 4. El núcleo urbano de Cuicuilco hacia 400 a.C. Reconstitución basada en perspectiva aérea y acuarela digital, 1999. Autor: Alejandro Villalobos (Fuente: Arqueología Mexicana, enero-febrero de 2010, Volumen XVII, número 101).

Actividad 4.11
Rally de identificación de impactos en el medio natural del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México

Estación 3. Reserva ecológica

La erupción del volcán Xitle produjo emisiones de lava que cubrieron una superficie de 80 km² y formaron lo que ahora conocemos como Pedregal de San Ángel, en el Sur de la Cuenca de México. En 1949 dio inicio la construcción de Ciudad Universitaria de la UNAM en parte de dicho pedregal. En la Figura 5 se observa la Facultad de Ingeniería aproximadamente en 1970.

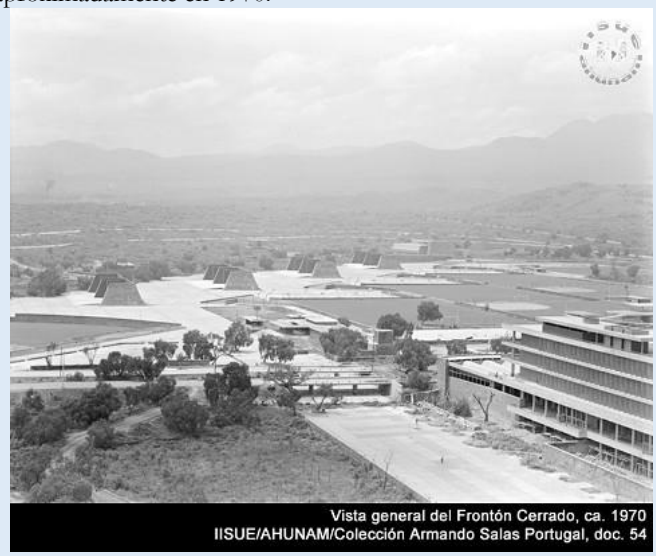


Figura. 5 La Facultad de Ingeniería en una vista hacia el sur, donde ahora se encuentran los edificios de las divisiones Ciencias Básicas y de Ingenierías Civil y Geomática

Materiales: brújula, cámara digital, mapa de la Ciudad de México que muestre la zona Sur de la Cuenca de México en la actualidad, mapa que muestre los rasgos geográficos de la zona Sur de la Cuenca de México en la etapa conocida como Preclásico (2500 a.C.- 200 d.C.)

Actividades

1. Recorrer a pie la avenida marcada con un rectángulo en la Figura 6, observando las áreas con vegetación a ambos lados de la avenida. Tomar fotografías relacionadas con las siguientes preguntas.

Preguntas:

2. ¿Qué extensión de terreno del Pedregal de San Ángel fue alterada con la construcción de Ciudad Universitaria en las varias etapas de su desarrollo urbano?
3. La mayor parte de la superficie del pedregal sostiene apenas una comunidad dominada por arbustos y hierbas, semejante a la que existe en regiones secas y semisecas del país, ¿qué nombre recibe?
4. Buscar una porción de terreno que sostenga la comunidad mencionada en la pregunta 1 y observe el suelo, ¿cuál es su profundidad y qué factores la determinan?
5. ¿De acuerdo a las condiciones climáticas del sitio, qué tipo de comunidad natural podría desarrollarse? ¿Sería posible tener algún día un ecosistema distinto al que existe en el sitio actualmente?
6. La avenida elegida como estación 3 fue construida en 1982 como parte del proyecto de construcción de la Zona Cultural de Ciudad Universitaria. ¿Qué impactos causó la construcción de dicha avenida en la comunidad natural durante la construcción y qué impactos se están produciendo actualmente durante la operación?

Actividad 4.11
Rally de identificación de impactos en el medio natural del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México

7. ¿Qué medidas de mitigación de los impactos durante la operación se observan en el sitio? ¿Qué medidas de mitigación sería necesario diseñar y realizar?
8. ¿Qué extensión total ocupa la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel y cómo se distribuye e integra su superficie en el campus? ¿Qué importancia tiene esta reserva como área protegida?
9. ¿Qué habría sucedido de no haber sido construida la Ciudad Universitaria de la UNAM en esta zona de la Cuenca de México?

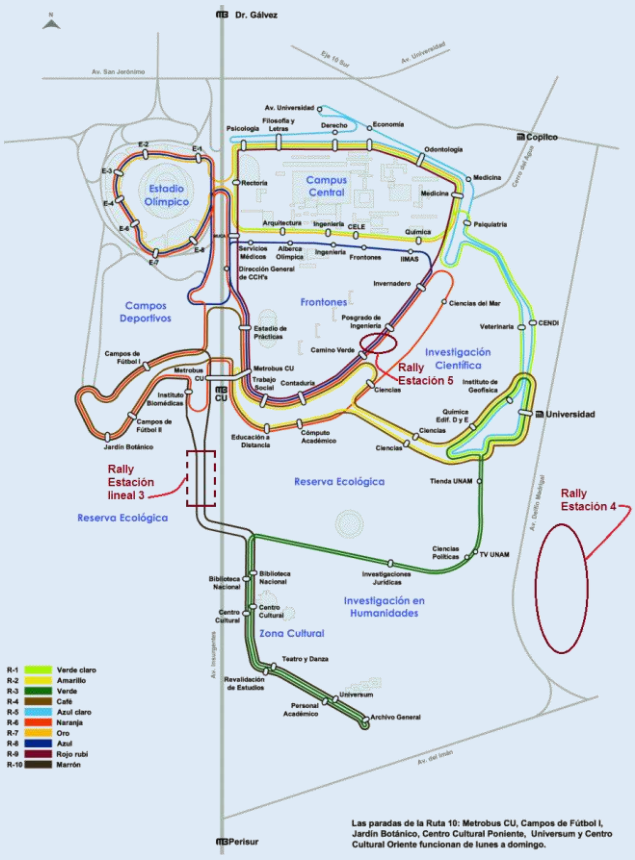


Figura 6. Ubicación de estaciones del Rally dentro de Ciudad Universitaria

Estación 4. Zona de amortiguamiento de la reserva ecológica, antigua cantera de la planta de asfalto
Materiales: mapa de Ciudad Universitaria que muestre la localización de las zonas de reserva ecológica.
Actividades

1. Visitar y observar las condiciones del terreno que fue explotado.

Preguntas:

2. ¿Cuál es el área aproximada que fue explotada y cuál fue el volumen de roca que se extrajo?
3. ¿Qué importancia tuvo la explotación de roca en esta zona para el desarrollo urbano de la Ciudad de México durante el siglo XX?

Actividad 4.11
Rally de identificación de impactos en el medio natural del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México

4. ¿Qué impactos se produjeron en el ecosistema como parte de la explotación de roca basáltica en el sitio?
5. ¿Qué tipo de ecosistema se encuentra en la zona que está a cargo de la Facultad de Ciencias? ¿Qué tipo de ecosistema se encuentra en la porción del terreno que utiliza el equipo de futbol?
6. En los alrededores de lo que fue la cantera y de los terrenos donde se encuentra la planta de asfalto (actualmente fuera de operación), en aproximadamente un radio de 10 km, ¿Qué acontecimientos urbanos dieron lugar al desarrollo que actualmente se tiene?

Estación 5. Zona de amortiguamiento en el circuito exterior de CU, en los alrededores de la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería

Materiales: cámara digital y mapa de Ciudad Universitaria que muestre el área en la estación 5.
Actividades:

1. Localizar un individuo de cada una de las siguientes especies que han colonizado las formaciones basálticas irregulares características de la zona: a) palo loco (*Senecio praecox*); b) tepozán (*Buddelia spp.*); copal (*Bursera spp.*). Al menos dos integrantes del equipo deben aparecer en la foto.

Advertencia: por seguridad no ingresar a las zonas de amortiguamiento, puede ser peligroso
Preguntas:

2. ¿Qué especies vegetales son endémicas del Pedregal de San Ángel?
3. ¿Qué especies animales son endémicas o están en algún estatus de la NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo?

Estación 6. Chimalistac, Av. Paseo del Río

Actividad 4.11
Rally de identificación de impactos en el medio natural del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México



Figura 7. Estación en Chimalistac, Del. Álvaro Obregón

Materiales: Plano de la Ciudad de México que muestre las inmediaciones de Ciudad Universitaria.
Actividades:

1. Recorrer y observar la Av. Paseo del Río en Chimalistac (Figura 7) y tomar fotografías de las estructuras de mampostería sobre el prado. Al menos dos integrantes del equipo deben aparecer en la foto.

Preguntas:

2. ¿Qué ecosistema se ubicaba en los años 20 del siglo XX en este lugar y cómo se llamaba?
3. Investigar y dibujar un mapa que muestre el área ocupada por el derrame de lava y ubicar el ecosistema de la pregunta 1 en dicho mapa. ¿Qué puede observar en dicho mapa?
4. ¿Por qué desapareció el ecosistema?

Conclusiones
Elaborar una línea del tiempo desde el año 0 de nuestra era, detallada con los acontecimientos investigados en el Rally.
Para concluir el Informe y terminar el Rally, se requiere que el equipo redacte dos conclusiones por cada estación, emplear la línea del tiempo para plantear sus conclusiones.

Capítulo

5

Objetivos de aprendizaje

Objetivo general: El alumno explicará la influencia del ambiente en la salud humana, particularmente la importancia de los microorganismos en las enfermedades transmitidas por factores ambientales. Además, distinguirá las enfermedades que tienen su origen en sustancias tóxicas y la necesidad de realizar estudios epidemiológicos.

En este capítulo aprenderás acerca de:

1. La vida y comportamiento de las bacterias, virus, algas, hongos y protozoarios, que se denominan en conjunto microorganismos.

2. La relación que existe de los microorganismos con el ambiente y las actvidades humanas.

3. Los procesos en los cuales los microorganismos se utilizan en la ingenieria ambiental para reducir los contaminantes o aprovechar los nutrientes.

4. Las enfermedades contagiosas al ser humano ocasionadas por microorganismos.

5. Las enfermedades con mayor presencia en la salud humana que no son infecciosas y que son originadas por contaminantes en el ambiente.

Capítulo

5

5. Microbiología y epidemiología

Los microorganismos pueden ser aliados o enemigos en problemáticas ambientales relacionadas con la salud humana, entenderlos en su entorno nos ayudará a mejorar nuestro mundo.

La microbiología estudia a los microorganismos, estos tienen una gran importancia para la ingeniería ambiental. Por una parte, son los principales responsables de la mayoría de las enfermedades infecciosas en el ser humano, y por otra, son utilizados en los tratamientos biológicos y bioquímicos para el control de la contaminación y los métodos de tratamiento para suelos, agua y residuos.

El otro tema que se desarrolla en este capítulo es la epidemiología, la ciencia que analiza el comportamiento de los brotes generalizados de alguna enfermedad infecciosa en una comunidad. Dicha ciencia ha sido ampliamente utilizada en el saneamiento ambiental y en la medicina desde el siglo XIX, estos temas fueron precursores de la ingeniería ambiental.

Además, en este capítulo se muestra la relación existente entre el comportamiento de los microorganismos, su entorno y los seres humanos. Esto permite comprender cómo en un ambiente saludable es posible impedir los efectos nocivos a la salud que algunos microorganismos podrían generar, así como evitar o controlar las epidemias. También se conocerán otros tipos de microorganismos que intervienen en los procesos que estudia la ingeniería ambiental, ya que con su metabolismo son capaces de modificar la materia, transformando un contaminante o sustancia nociva en un producto inocuo, cuyos elementos o nutrientes pueden ser incorporados nuevamente en los ciclos biogeoquímicos de la naturaleza, como se explicó en el Capítulo 4.

Recuadro (5.1)
Conceptos de microbiología y epidemiología

Microbiología. La palabra **microbiología** tiene su origen etimológico en **micros**, pequeño, **bios**, vida y **logos**, estudio, por lo que significa: el estudio de los microorganismos y de sus actividades. La microbiología en ingeniería ambiental trata de los microorganismos existentes en el agua, las aguas residuales, el aire, los suelos y los residuos, los cuales pueden afectar la salud humana, degradar materia orgánica o realizar algún otro beneficio a la sociedad.
Epidemiología. La palabra **epidemiología** tiene su origen etimológico en **epi**, encima, **demos**, gente y **logos**, estudio, por lo que significa: el estudio de los males o daños que han afectado a la gente. Este concepto aplicado a enfermedades, se interpreta como: el estudio de las causas de las enfermedades una región del mundo en un momento de la humanidad.
Epidemia. La palabra **epidemia** explica el brote extendido de alguna enfermedad infecciosa en alguna región o localidad.

5.1 Fundamentos de microbiología

La microbiología es una ciencia que combina diferentes áreas del conocimiento entre las que destacan: bacteriología, virología, micología, ficología, protozoología, zoología, bioquímica y matemáticas. La microbiología como su nombre lo indica se define a partir del estudio de la vida de los microorganismos. En términos de Ross E. McKinney: *Los microorganismos son el tema que unifica el estudio de la microbiología* (McKinney, 2004).

Los virus, bacterias, hongos, algas, protozoarios, rotíferos, crustáceos y varios gusanos constituyen los principales grupos de microorganismos que existen en el ambiente. La relevancia de estos grupos de microorganismos para la ingeniería ambiental depende de la vinculación con problemáticas de contaminación y de salud humana en los que están presentes familias específicas de microorganismos. Diferentes áreas de la microbiología tratan estos aspectos, siendo el centro del análisis la vida de los microorganismos en el ambiente. La microbiología puede emplearse para solucionar casos de contaminación ambiental, también para proteger a las personas de microorganismos patógenos (causantes de enfermedades) y el desarrollo de productos relacionados con sectores como: médico, agrícola, alimenticio y energético, entre otros.

Los microorganismos se clasifican en dos grupos: protistas (con célula) y virus (sin célula). Los protistas se dividen en dos categorías: los superiores (eucariotas), que son organismos unicelulares o multicelulares con núcleo verdadero, y los inferiores (procariotas), que carecen de núcleo. Los eucariotas están formados por protozoarios, algas y hongos. Los procariotas sólo incluyen bacterias y cianobacterias (conocidas también como algas azules). Esta clasificación se presenta en la figura 5.1.

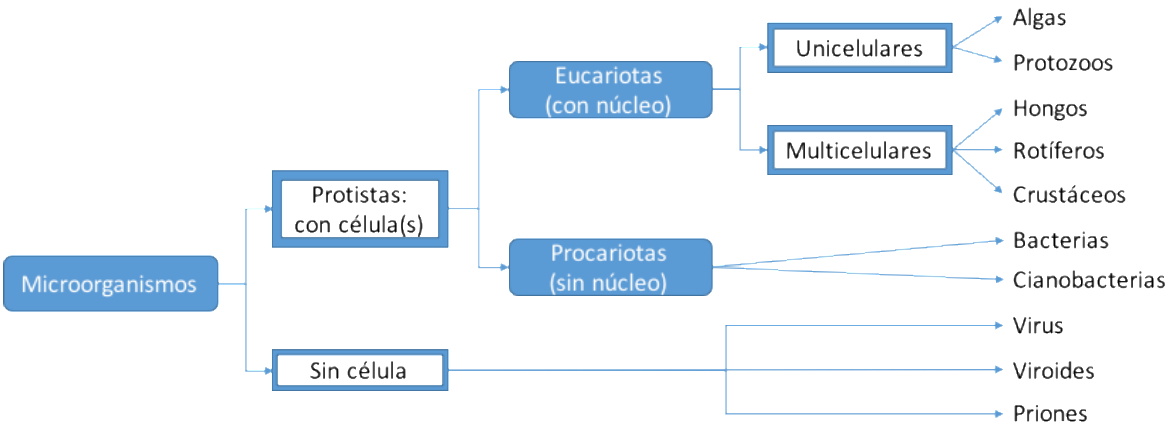


Figura 5.1. Clasificación de los microorganismos

De acuerdo con (Glynn, 1999), una descripción inicial de los microorganismos que estudia la microbiología es:

> Los **virus**, más pequeños que las bacterias, pueden causar enfermedades en plantas y animales, así como en los humanos.
>
> Las **bacterias** forman el grupo de microorganismos más importante, y son indispensables para el ciclo de nutrientes del ecosistema. Las bacterias patógenas han sido objeto de mayor atención. Muchas otras tienen importancia en los procesos de tratamiento de agua y de aguas residuales, en la autopurificación natural de corrientes y lagos, y en la descomposición de los materiales en rellenos sanitarios, suelos y montículos de abono.
>
> Como se describió en el capítulo 4, las **algas** son un grupo de microorganismos fotosintéticos semejantes a las plantas. Causan problemas en el suministro de agua porque confieren sabores y olores desagradables, e incluso pueden contener toxinas y obstruyen los sistemas de filtración de las plantas de tratamiento. Sin embargo, estos organismos son benéficos, por ejemplo, en los estanques de oxidación, pues suministran oxígeno para el tratamiento económico de aguas residuales. Por otra parte, es pertinente recordar que un exceso de nutrientes en el agua puede dar origen a la floración de algas, cuya descomposición al morir consume el oxígeno disuelto en ambientes lénticos, causando la eutrofización. Los **protozoarios** son en tamaño más grandes que las bacterias y son útiles en los procesos de tratamiento biológico, ya que se alimentan de ellas.
>
> Los **hongos** son protistas no fotosintéticos multicelulares capaces de sobrevivir en condiciones de pH ácido. Estos organismos son útiles en el tratamiento biológico de ciertos residuos industriales y en la transformación de desechos sólidos orgánicos en abono. Los **rotíferos**, organismos multicelulares que en ocasiones están presentes en el tratamiento biológico, desempeñan una función de "limpieza" al consumir coloides orgánicos, bacterias y algas. Los **crustáceos** son organismos multicelulares con un cuerpo o concha duro. Algunos son microscópicos y sirven de alimento para los peces. Se les considera indicadores de condiciones normales, sin contaminación, en aguas receptoras.

La microbiología implica el análisis del comportamiento de cada grupo de microorganismos, por lo que se requiere en primer lugar, conocer algunas características generales de los microorganismos para posteriormente entender los aspectos fundamentales de sus etapas de desarrollo y finalmente establecer las posibles relaciones con el ambiente. A continuación se presenta con mayor detalle los diferentes grupos de microorganismos.

5.1.1 Bacterias

Las **bacterias** son el grupo más importante de los microorganismos en el ambiente. La principal función que realizan es la de convertir la materia orgánica muerta en materiales estables que pueden volver a ser utilizados para la formación de nuevas células; con esta función metabólica, realizan un aporte muy valioso al ambiente, al mantener sin interrupción el funcionamiento natural de los ciclos biogeoquímicos. Esta funcionalidad les otorga un lugar relevante en los métodos de tratamiento que se aplican por la ingeniería ambiental para agua, suelo, residuos sólidos y algunas sustancias contaminantes, como se verá en el apartado 5.2 Microbiología aplicada.

(McKinney, 2004), explica en palabras sencillas las características de las bacterias y su diferenciación respecto a los otros microorganismos:

> Las **bacterias** son microorganismos muy pequeños, **células individuales** que contienen todos los materiales y componentes esenciales dentro de una cápsula en forma de saco cerrado. Para sobrevivir y crecer, las bacterias deben obtener sus nutrientes del entorno inmediato. Puesto que las bacterias no tienen bocas, sus nutrientes deben ser solubles y lo suficientemente pequeños para pasar a través de la cápsula y la membrana que rodea la célula viva. La membrana de las bacterias se considera semi-permeable, permitiendo el paso de diferentes materiales en ambos sentidos a través de la membrana. No es sorprendente que el medio acuoso es el mejor ambiente para las bacterias. La membrana celular continua y las necesidades de nutrientes solubles hizo que en un inicio se clasificara a las bacterias como plantas. Puesto que las bacterias no utilizan la clorofila en el proceso de fotosíntesis, como lo hacen las plantas, fue difícil aceptarlas como plantas. Finalmente, se reconoció que las bacterias carecían de un núcleo definido dentro de la célula, proporcionando una diferencia significativa respecto a los otros microorganismos. Esta diferencia en la estructura celular de los microorganismos básicos permitió que fueran clasificados en dos grandes grupos, los procariotas, células sin núcleo definido, y eucariotas, las células con un núcleo definido. Las bacterias se clasifican como procariotas y todos los otros microorganismos fueron clasificados como eucariotas.

En la tabla 5.1 se incluyen ejemplos de bacterias relacionadas con la ingeniería ambiental. Las bacterias individuales se pueden ver con la ayuda de un microscopio óptico, por esta razón fue que en 1872 F. J. Cohn, como resultado de sus investigaciones, consideró que las bacterias eran los organismos vivos más pequeños. Analizó varias formas diferentes de bacterias con ayuda del microscopio óptico, a partir de ello dedujo la primera clasificación de las bacterias en función de sus características físicas. En la actualidad, se reconoce que hay tres formas básicas de bacterias: esféricas o cocos (*cocci*), bastones o cilíndricas (*baccillus*) y espirales (*spirillum*). Las bacterias son organismos muy pequeños, las esféricas tienen un tamaño alrededor de 0.1 micra de diámetro (micra, micrómetro o micrón, millonésima parte de un metro, se identifica con el símbolo μm), las otras tienen tamaños de 0.5 a 5.0 μm de largo y 0.3 a 1.5 μm de ancho.

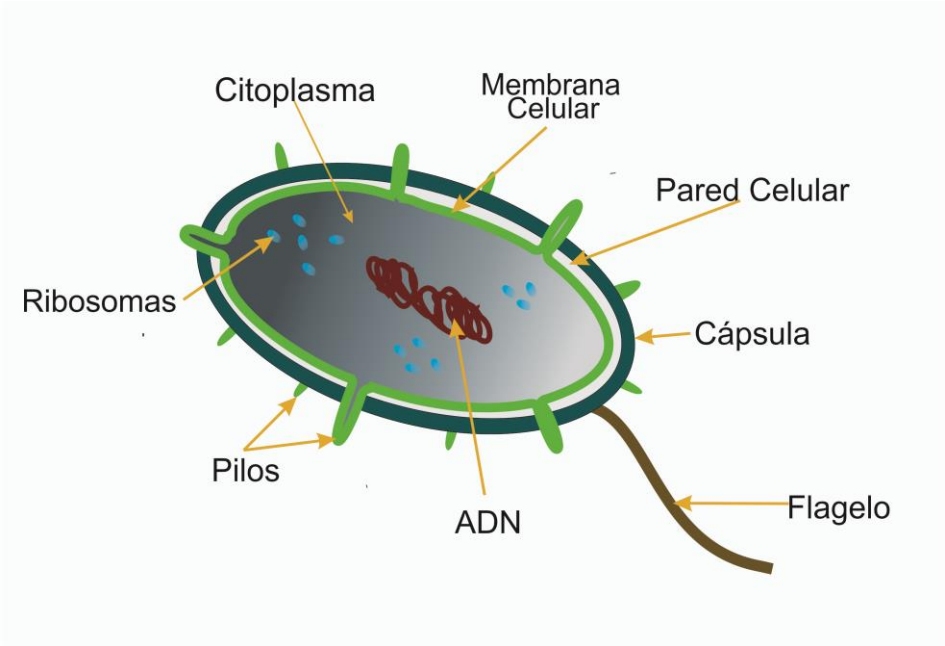
Tabla 5.1. Bacterias y su importancia ambiental

Grupo de bacterias	Género	Importancia ambiental
Bacterias patógenas	*Salmonella*	Causa fiebre tifoidea
	Shigella	Causa disentería
	Mycobacterium	Causa tuberculosis
Bacterias indicadoras de contaminación	*Escherichia*	Contaminación fecal
	Enterobacter	
	Streptococcur	
Bacterias de descomposición de materia orgánica	*Pseudomonas*	Degrada compuestos orgánicos
	Flavobacterium	Degrada proteínas
	Zooglea	Organismo formador de flóculos en plantas de lodos activados
	Clostridium	Producen ácidos grasos a partir de materia
	Micrococcus	orgánica en un digestor anaerobio
	Methanobacterium	Producen metano gaseoso a partir de ácidos
	Methanosarcina	grasos en un digestor anaerobio
Bacterias nitrificantes	*Nitrobacter*	Oxidan compuestos nitrogenados inorgánicos
	Nitrosomonas	
Bacterias desnitrificantes	*Bacillus*	Reducen nitratos y nitritos a nitrógeno gaseoso u
	Pseudomonas	óxido nitroso
Bacterias fijadoras de nitrógeno	*Azotobacter*	Capaces de fijar el nitrógeno atmosférico en NH_3
	Beijerinckia	
Bacterias Sulfurosas	*Thiobacillus*	Oxida el azufre y el hierro
Bacterias reductoras de sulfatos	*Desulfovibrio*	Interviene en la corrosión de tuberías de hierro
Bacterias fotosintéticas	*Chlorobium*	Reducen sulfuros a azufre elemental
	Chromatium	
Bacterias férricas	*Sphaerotilus*	Dan volumen a los lodos en las plantas de lodos
Filamentosas		activados
Oxidantes del hierro	*Leptothrix*	Oxidan el hierro ferroso

Fuente: (Glynn, 1999).

Todas las bacterias tienen la misma estructura general. Si se pudiera ver una bacteria y se listara su estructura desde afuera hacia adentro, se tiene en primer lugar una **capa mucosa** o cápsula (la cual varía su espesor dependiendo el tipo de bacteria), luego la **pared celular**, posteriormente la **membrana celular**, el **citoplasma** y los **ribosomas** (paquetes de material nuclear y proteínas) dentro de la membrana. La figura 5.1 es un diagrama esquemático de la estructura unicelular de una bacteria.

Figura 5.2. Estructura unicelular de una bacteria Fuente: (McKinney, 2004)



Una breve descripción de los principales componentes de una bacteria se presenta a continuación, la cual ha sido tomada del trabajo de (McKinney, 2004):

Pared celular. Es una capa resistente que se localiza en el exterior de la célula, en muchas ocasiones rígida, ya que debe soporta las variaciones de tamaño por el crecimiento celular, así como las fuerzas osmóticas por el intercambio de fluidos entre el medio y la célula. A. L. Koch presentó una visión general sobre el crecimiento y la forma de la pared celular bacteriana en 1990, mostrando que la pared celular se compone de varias capas de moléculas de carbohidratos ligadas con péptidos a base de aminoácidos.

Membrana celular. La membrana celular se encuentra junto a la superficie interior de la pared celular. Se trata principalmente de un polímero de lipoproteínas denso que controla el movimiento de materiales hacia dentro y hacia afuera de la bacteria. Recientemente, se ha reconocido que la membrana celular tiene una función mucho más importante que simplemente controlar el movimiento de los materiales. Parece que las reacciones metabólicas principales para las bacterias se producen en la membrana celular. Los nutrientes son degradados para proporcionar energía para la síntesis de los materiales de las células, el material de la pared de la célula se sintetiza en la superficie de la membrana mientras el ácido ribonucleico (ARN), el ácido desoxirribonucleico (ADN) y las proteínas se sintetizan dentro de la célula.

Citoplasma. El citoplasma es el material principal en el interior de la membrana celular. Es una suspensión coloidal de diversos materiales, principalmente proteínas. Los coloides son partículas diminutas que tienen gran superficie respecto a su masa, haciéndolos altamente reactivos. Estos fragmentos de proteínas son importantes para el éxito de las bacterias, que proporcionan los bloques de construcción para todas las enzimas clave que necesita la célula. El gran tamaño de estos fragmentos coloidales impide su movimiento hacia afuera de la célula hasta que se rompe la membrana celular.

Los flagelos y pilos. Los flagelos son filamentos de proteína que se extienden desde la membrana celular a través de la pared celular en el entorno líquido. La energía generada en la membrana celular genera el movimiento de los flagelos para propulsar a la bacteria a través del líquido. Los flagelos se pueden situar en un extremo de la bacteria, en ambos extremos o cubriéndola completamente. Los flagelos son muy importantes para las bacterias en forma de bastón, ya que les permite moverse en busca de nutrientes cuando es necesario. Las bacterias conforme van creciendo, producen muchas pequeñas protuberancias de proteínas que parecen flagelos. Estas protuberancias pequeñas de proteínas han sido llamadas pilos y parecen ayudar a las bacterias para adherirse a diversas superficies, incluyendo otras bacterias.

Algunas características relevantes de las bacterias vinculadas con su metabolismo y su relación con las aplicaciones en la ingeniería ambiental son:

Contenido de humedad

Las bacterias son aproximadamente 70% a 80% de agua y 30% a 20% de materia seca respectivamente. El contenido seco está integrado de fracciones orgánica e inorgánica. Los porcentajes de materia orgánica y materia inorgánica dependen de las características químicas de los ambientes en los que las bacterias crecen. Ambientes con altas concentraciones de sales inorgánicas producirán bacterias con mayor contenido de compuestos inorgánicos en la masa celular, mientras que los ambientes que contienen concentraciones bajas de sales generarán bacterias con masa celular de bajo contenido inorgánico. Esta relación es muy importante en microbiología ambiental ya que el contenido mineral del agua varía ampliamente. La fracción inorgánica en bacterias en los rangos de los ambientes normales está entre 5% y 15% con un promedio alrededor de 10% en peso seco. De forma complementaria, la fracción orgánica en bacterias puede variar de 95% a 85%, con un promedio del 90% en peso seco.

Esta característica que relaciona el porcentaje de humedad de la bacteria y las proporciones de materia orgánica e inorgánica en la célula, determina la adaptación de la bacteria a ciertos ambientes y por tanto determinará la facilidad de crecimiento en un ambiente o en otro. Como se mencionó en el capítulo 4 las bacterias son los descomponedores, como ejemplo, esta capacidad de adaptación puede acelerar los procesos de tratamiento en agua, suelo y residuos. Un ejemplo para agua, es el tratamiento de la materia orgánica en aguas residuales, en el cual, si se redujera en exceso el contenido de humedad podría detener el crecimiento bacteriano y por lo tanto el proceso de tratamiento. Otro caso es el secado de los residuos sólidos por compactación, utilizado para evitar la descomposición de la fracción orgánica de los residuos; en este proceso se reduce al máximo el contenido de humedad mediante un tratamiento mecánico (aplicación de presión a la masa de residuos, disminuyendo los espacios entre las partículos y extrayendo la humedad de los intersticios), con la finalidad de aislar a las bacterisas del medio acuoso y evitar el crecimiento bacteriano.

Nutrientes

Las bacterias metabolizan nutrientes para permanecer vivas y para producir nuevas células. El metabolismo es la transformación química de sustancias. La producción de nuevas células requiere elementos químicos suficientes para la construcción de los diferentes compuestos químicos que forman la célula. Las bacterias que metabolizan sustancias químicas, ya sean orgánicas o inorgánica, se designan como quimiótrofas. Las bacterias que metabolizan nutrientes orgánicos se conocen como heterótrofas. Las bacterias que metabolizan inorgánicos se llaman autótrofas. Las bacterias que utilizan la luz como fuente de energía se denominan fotosintéticas.

Oxígeno

Existen dos tipos de metabolismo microbiano, el metabolismo aerobio y el metabolismo anaerobio. El aerobio se caracteriza por utilizar oxígeno molecular (O_2) y producir una mayor cantidad de energía para síntesis de los nutrientes que la generada por el metabolismo microbiano anaerobio. En contraparte, el metabolismo anaerobio no utiliza oxígeno para el proceso químico de transformación de las sustancias, produciendo como residuos del proceso gases como el metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

En las bacterias, la cantidad total utilizada de oxígeno disuelto indica la cantidad de materia orgánica metabolizada, por otra parte, la tasa de variación en el consumo de la materia orgánica es un parámetro del estado de crecimiento de las bacterias. La relación entre el cambio en la cantidad de materia orgánica, el consumo de oxígeno y la cantidad de bacterias ofrecen un panorama completo del metabolismo bacteriano. Butterfield, Purdy y Theriault, encontraron en 1931 que la velocidad de consumo de oxígeno se relaciona directamente con el crecimiento bacteriano.

Crecimiento de las bacterias

La observación de cultivos de bacterias en crecimiento mostró que se reproducen por fisión binaria. Una sola célula se expande cuando se metabolizan los nutrientes. En una etapa específica de crecimiento del ADN crea un duplicado de sí mismo. Inmediatamente, la célula comienza a desarrollar una nueva pared celular desde el centro de la célula. Las dos copias de ADN se separan, una copia a cada lado de la nueva pared celular. Finalmente, la célula alcanza la masa crítica y se divide en dos células. Cada célula es una copia idéntica de la célula original. Las dos nuevas células pueden metabolizar los mismos nutrientes y dividirse en dos células más. Se ha observado que las bacterias tienden a dividirse a la misma velocidad cuando las condiciones ambientales siguen siendo las mismas, esta observación es determinante para lograr la estabilización de los métodos de tratamiento biológicos o bioquímicos.

El tiempo requerido para que las bacterias crezcan y se dividan en dos células, se ha denominado el ***tiempo de generación***. Algunas bacterias pueden dividirse en menos de una hora, en condiciones de temperatura óptima y crecimiento en un ambiente con suficiencia de nutrientes. Otras bacterias pueden tomar un día o dos para dividirse. Bajo condiciones limitantes de nutrientes, la tasa de crecimiento de las bacterias es menor que su tasa de crecimiento óptimo. Las bacterias en comparación con los organismos superiores tienen una tasa de crecimiento mayor, es decir, un ritmo acelarado de reproducción, esto ocurre por el pequeño tamaño de las bacterias y la simplicidad de su metabolismo.

Supóngase un sistema cerrado el cual contiene una población de bacterias y concentración de sustrato. En este sistema la curva de crecimiento de las bacterias muestra varias fases, como se observa en la figura 5.3. La primera fase de crecimiento ha sido designada como la **fase de latencia**. Durante la fase de latencia las bacterias no aumentan en número, pero se están adaptando al nuevo metabolismo del sustrato. Una vez que las bacterias se han adaptado al sustrato, comienza la **fase de crecimiento logarítmico**, en la que las bacterias están metabolizando a su tasa de crecimiento máxima, duplicándose en un intervalo fijo designado como el tiempo de generación. Las bacterias continúan en la fase de crecimiento logarítmico hasta que el sustrato escasea. La concentración del sustrato respecto al número de bacterias por unidad de volumen a menudo limita el aumento de la tasa de crecimiento de las bacterias en esta fase. Los productos de desecho del metabolismo acumulados en el líquido alrededor de las bacterias, pueden desacelerar la tasa de crecimiento. A medida que se desacelera el metabolismo, la población de bacterias pasa a la **fase de disminución del crecimiento**. Con el tiempo, el número de bacterias alcanzan un máximo y entran en la **fase estacionaria** en la cual el número de bacterias se mantiene constante durante un lapso. Como las bacterias comienzan a morir, entran en la **fase acelerada de muerte**. La tasa de muerte acelerada alcanza en poco tiempo la **fase logarítmica de muerte**; finalmente, las bacterias alcanzan la **fase final de muerte**.

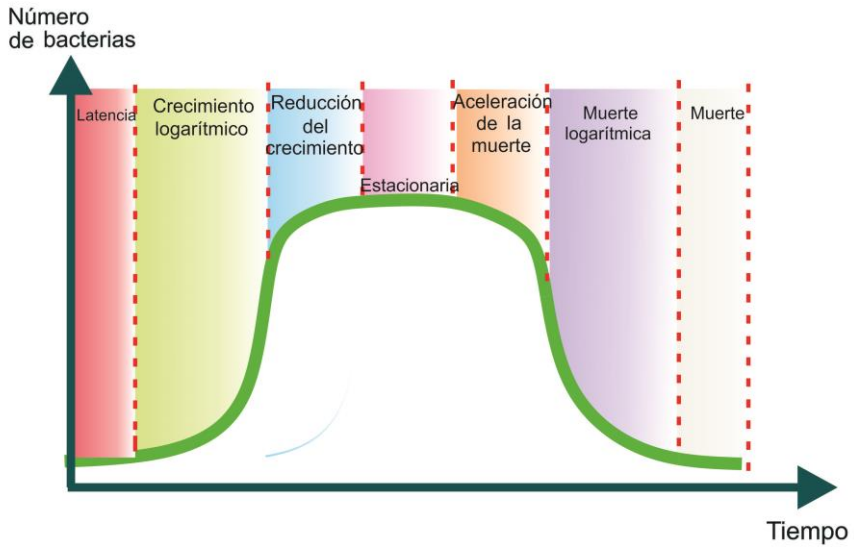


Figura 5.3. Curva típica del crecimiento de las bacterias.

Fuente: elaboración con información de (McKinney, 2004)

En un medio abundante de oxígeno y de nutrientes el crecimiento bacteriano inicial será de tipo aerobio hasta que se haya utilizado todo el oxígeno disuelto (OD) existente en el ambiente. Los cambios del metabolismo se darán de aerobio a anaerobio, considerando la acumulación de productos finales y la reducción de nutrientes, que son los que limitan el metabolismo.

El aspecto más importante de la investigación de Monod es el establecimiento de que la tasa de crecimiento de las bacterias (μ) es una función de la variación en la concentración de sustrato, iniciando con la mayor concentración que se va reduciendo por el consumo por las bacterias, hasta una concentración específica en la que la tasa de crecimiento se convierte en constante. Las ecuaciones de Monod comenzaron con la relación observada anteriormente para la fase de crecimiento logarítmico, en la cual, la tasa de crecimiento era una función de los nutrientes y la del sustrato microbiano. La siguiente ecuación diferencial representa lo explicado.

$$\frac{dN}{dt} = \mu N \tag{3.35}$$

N = número de bacterias

t = tiempo (h)

μ = tasa de crecimiento, (1/h)

Resolviendo la ecuación diferencial, se tiene:

$$N = N_0(e^{\mu t}) \tag{3.36}$$

N = número de bacterias en el tiempo t

N_0 = número de bacterias al inicio, para t = 0.

5.1.2 Virus, algas, hongos y protozoarios

Los otros microorganismos que se estudian en microbiología son los virus, las algas, los hongos y los protozoarios, como se mencionó en la introducción de este capítulo, éstos se dividen en virus y protistas eucariotas: algas, hongos y protozoarios. Retomando el trabajo de (Glynn, 1999) y de (McKinney, 2004), se describen las principales características de estos microorganismos y su relación con la ingeniería ambiental.

Virus

Los virus más pequeños tienen un tamaño de 10 a 250 nanómetro (nanómetro es la unidad de longitud equivalente a una mil millonésima parte de un metro, 1 nm = 10^{-9} m, se identifica con el símbolo nm). En comparación, el tamaño de una bacteria pequeña, *Salmonella typhi*, es de 1,000 nm, o 1 μm. Los virus son especiales en cuanto a que no contienen enzimas internas y por tanto no pueden crecer o metabolizar por cuenta propia. Estos organismos son parásitos que infectan los tejidos de bacterias, plantas, animales e incluso de humanos. Algunos ejemplos de virus que son patógenos a los humanos son los que causan la viruela, la hepatitis infecciosa, la influenza y la poliomielitis.

En general, los virus se componen de un centro de ácidos nucleicos, ADN o ARN, rodeado de una cubierta proteica llamada cápside, compuesta por unidades más pequeñas llamadas capsómeros. Una unidad viral completa se designa como virión. Los virus se forman de acuerdo con reglas geométricas de simetría. Los tipos de proteínas que componen el cápside ayudan a distinguir un virus de otro. Cada grupo de virus infecta sólo un tipo específico de célula huésped, de modo que, por ejemplo, una enfermedad viral animal no se puede transmitir a los humanos.

De acuerdo con la teoría celular, los virus no son organismos vivos; sin embargo, tienen capacidad de reproducirse o replicarse dentro de sus células huésped específicas. Puesto que en realidad no están vivos fuera de una célula huésped sobreviven largo tiempo entre una infección y otra, y sólo se les puede "matar" alterando sus estructuras moleculares.

Las algas, los hongos y los protozoarios tiene mayor complejidad y poseen estructuras más especializadas que las de los virus o las bacterias.

Algas

Las algas tienen un núcleo discreto rodeado por una membrana nuclear y, por tanto, se clasifican como eucariotas, es decir, "tienen núcleo verdadero". La pared celular de las algas es gruesa. Por consiguiente, las algas incluyen tanto protistas superiores como inferiores. Su tamaño varía desde fitoplancton unicelular microscópico hasta grandes algas marinas multicelulares. Las algas unicelulares pueden tener forma esférica, cilíndrica, parecida a un palo o en espiral. Las colonias multicelulares pueden formar filamentos o tubos largos, o integrar masas de células individuales adheridas unas a otras. Los crecimientos filamentosos pueden ramificarse o agruparse, e incluso contener células que llevan a cabo funciones especiales. Estas colonias superficialmente se parecen a las plantas superiores. Cualquiera que sea su tamaño o complejidad, todas la células algáceas contienen pigmentos fotosintéticos, por consiguiente son capaces de realizar la fotosíntesis. Los pigmentos se encuentran en cuerpos definidos llamados plástidos, cloroplastos o cromatóforos. Las algas son productores primarios importantes en la cadena alimenticia acuática, no obstante pueden constituir un problema en el aprovisionamiento de agua porque aportan sabores y olores, tapan tomas de agua, reducen el tiempo de uso de los filtros y causan una alta demanda de cloro. El crecimiento excesivo de algas, conocido como floraciones algáceas, forma un manto de material orgánico que interfiere con el uso recreativo de las aguas. Las algas se clasifican con base en sus pigmentos. La tabla 5.2 muestra siete grupos generales, los grupos I, II, IV y VII son de particular interés en la ingeniería ambiental debido a la presencia en aguas en estado natural y contaminadas.

Tabla 5.2. Clasificación de algas

División	Color	Ambiente/disposición celular/comentarios
I. Clorofitos	Verde hierba	Agua dulce; principalmente algas de aguas limpias (excepto *Chlorella*, *Scenedesmus*), casi siempre coloniales, filamentosas.
II. Crisofitos	Verde amarillento	Agua limpia y fría; principalmente celulares, algunas coloniales. Las diatomeas tienen sílice en la pared celular.
III. Pirrofitos	Pardo amarillento	Principalmente marinas; 90% unicelulares, dos flagelos.
IV. Euglenofitos	Verde	Agua dulce; requieren nitrógeno orgánico; crecen como protozoarios en ausencia de luz; unicelulares, motilidad por flagelo.
V. Rodofitos	Rojo	Principalmente marinas; agua cálida muy limpia, coloniales; son comunes las hojas.
VI. Fiofitos	Pardo	Marinas; agua fría; coloniales, grandes. Ejemplo: *Macrocystis*, alga marina gigante.
VII. Cianofitos	Verde azuloso	Agua dulce, cálida, son frecuencia contaminada; unicelulares, masas gelatinosas; sin cloroplastos ni núcleo verdadero; fijadoras de nitrógeno, suelen formar floraciones algáceas.

Fuente: (Glynn, 1999).

Hongos

Los hongos son protistas superiores (eucariotas) no fotosintéticos y se dividen en tres grupos: mohos, que son hongos filamentosos; levaduras, los hongos no filamentosos, y las setas, que son hongos macroscópicos. Los hongos típicamente son aerobios y saprófitos, es decir, se alimentan de materia orgánica en descomposición. Estos organismos son capaces de utilizar una amplia variedad de sustancias orgánicas complejas como fuentes de alimento y son mucho más tolerantes a las condiciones ácidas que los demás microorganismos. A excepción de las levaduras, su modo de reproducción es por medio de esporas sexuales o asexuales.

Hongos. Los hongos crecen extendiendo largas estructuras con aspecto de hilos llamados hifas, las cuales forman una masa llamada micelio (*micelia* en plural). El micelio vegetativo penetra el sustrato para absorber los nutrientes disueltos, en tanto que el micelio reproductivo forma estructuras reproductivas (sacos de esporas, esporas, etc.).

Levaduras. Las levaduras son organismos unicelulares mucho más grandes que las bacterias (de 1 a 5 μm de ancho y de 5 a 30 μm de longitud); por lo general son células ovoides, esféricas y elipsoidales que se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza. Las levaduras se reproducen de forma asexual por fisión binaria o por gemación, y sexualmente por formación de ascosporas. A diferencia

de los mohos, las levaduras son facultativas; es decir, crecen en forma tanto aerobia como anaerobia. Las levaduras se emplean en una amplia variedad de procesos fermentativos (para hacer vino, cerveza y pan) y para sintetizar ciertas vitaminas, grasas y proteínas a partir de azúcares sencillos y nitrógeno amoniacal. Otras levaduras, como *Candida*, causan graves infecciones en los humanos.

Setas. Las setas son formas diferenciadas de hongos. El micelio está en el suelo, y en ciertas condiciones se forman sobre él los basidios, estructuras que llamamos setas u hongos.

Los tres grupos de hongos se distinguen con base en su estructura y método de reproducción, conforme el esquema de clasificación simplificado que se muestra en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Clasificación de hongos

Tipo	División	Características / ejemplos
Mohos (filamentosos)	Ficomicetos	Esporas sexuales o asexuales; *Mucor*, *Rhizopus*
	Hongos imperfectos	Ningún estadio sexual; *Penicillium*, *Aspergillus*.
Levaduras (no filamentosos)	Ascomicetos	Esporas sexuales en sacos; *Neurospora*, *Candida*.
Setas (macroscópicos)	Basidiomicetos	Estadio sexual en los basidios; champiñón común.

Fuente: (Glynn, 1999).

Protozoarios

Los protozoarios son los organismos unicelulares más especializados. Casi todos ellos no son fotosintéticos, se reproducen asexualmente por fisión binaria y carecen de verdadera pared celular. La mayor parte de las especies tienen motilidad y se pueden clasificar con base en el medio de locomoción, ver tabla 5.4. Su tamaño varía desde pocos hasta varios cientos de micrómetros. Los protozoarios están ampliamente distribuidos en la naturaleza y existen en casi todos los hábitats donde hay humedad. Estos organismos sobreviven en condiciones adversas formando quistes con pared gruesa. Los protozoarios pueden ser saprófitos (obtienen alimento en forma disuelta); son depredadores de bacterias y se les encuentra dondequiera que las bacterias abunden. Algunos de ellos son parásitos capaces de causar enfermedades en animales y humanos.

Tabla 5.4. Clasificación de protozoarios

División	Motilidad	Ejemplos
I. Seudópodos (Sarcodina)	Motilidad por seudópodos; movimiento amibiano fluido.	*Amoeba*, *Entamoeba*
II. Flagelados (Mastigophora)	Motilidad por flagelos; muchos fotosintéticos.	*Euglena*, *Volvox*, *Giardia*
III. Ciliados (Ciliophora)	Nadan libremente; motilidad por muchos cilios que se mueven al unísono. Adheridos; fijos por un pedúnculo a una superficie.	*Paramecium* *Vorticella*
IV. Protozoarios parásitos	(Suctoria). Ciliados de nado libre al principio del ciclo vital, tentáculos en el estadio adulto posterior pedunculado. (Sporozoa). Por lo común sin motilidad; rara vez viven en libertad; parásitos.	*Plasmodium*

Fuente: (Glynn, 1999).

La membrana celular de los sarcodinos cambia de forma continuamente. Los organismos se mueven alargando su citoplasma en busca de alimento. Estas extensiones se llaman seudópodos, o pies falsos, y son típicos de las amibas. Los sarcodinos son saprófitos. *Entamoeba histolytica* es un agente patógeno común que causa disentería amibiana en los humanos.

Los mastigóforos tienen flagelos, y ciertas especies son fotosintéticas. Los organismos fotosintéticos (como *Euglena*) muestran algunas de las características de los protozoarios y de las algas. Algunos mastigóforos son parásitos. *Trypanosoma*, un parásito de la sangre, causa la enfermedad del sueño en los humanos. Los cilióforos se caracterizan por tener finos vellos (cilios) que además de conferir motilidad, facilitan la captura de alimento. *Paramecium* es un ciliado típico.

Los protozoarios parásitos incluyen los suctorios (de nado libre) y los esporozoarios (sin motilidad). Cuatro especies de Plasmodium, los causantes de la malaria o paludismo en los humanos, son miembros del segundo grupo. El vector (organismo portador) que transmite estos parásitos a un huésped es el mosquito *Anopheles* hembra.



Actividad 5.1.
Diagrama Causa-Efecto de la crisis del cólera en Londres.
Realiza un diagrama causa-efecto considerando lo visto en el video "Dr. Snow's Cholera Dot Map of London".

5.2 Microbiología aplicada

La microbiología es una ciencia que estudia los microorganismos mediante la combinación de diferentes áreas del conocimiento como la bacteriología, la virología, la micología, la ficología, la protozoología, la zoología, la bioquímica y las matemáticas. Esta sección presenta la relación de la microbiología con aplicaciones en la ingeniería ambiental en particular en tres aspectos: i) suelos y tratamiento de residuos, ii) agua y su tratamiento, y iii) atmósfera e interiores.

5.2.1 Microbiología en suelos y tratamiento de residuos

La acción de los microorganismos hace que prácticamente todos los seres vivos: plantas, animales y protistas, así como, los residuos generados por ellos, se reincorporen al suelo en algún momento. Si no existiera ésta función de los microorganismos, los ciclos biogeoquímicos, como el del carbono o del nitrógeno expuestos en el Capítulo 4, serían incompletos y por tanto la vida en el Planeta estaría en riesgo.

El suelo es una capa muy delgada de materiales sobre la superficie terrestre. La variación de la profundidad del suelo y sus propiedades fisicoquímicas dependen del lugar en la Tierra en donde se encuentre. Se identifican cinco componentes principales: a) partículas minerales, b) residuos orgánicos, c) agua, d) gases, y e) microorganismos.

Los microorganismos más comunes en el suelo son las bacterias y los hongos. Las bacterias autótrofas y heterótrofas descomponen sustancias orgánicas e inorgánicas, lo que puede ocurrir en un ambiente aerobio o anaerobio. Los hongos degradan celulosa y tejido vegetal en un ambiente aerobio, por lo que regularmente están cerca de la superficie.

Las bacterias y los hongos son más representativos en suelos fértiles. En otro tipo de suelo, como los áridos o inorgánicos y en las rocas, los microorganismos más importantes son las algas, ya que en estas condiciones son los principales productores de materia orgánica. Por otra parte, los protozoarios abundan en suelos donde hay bacterias y ambientes aerobios.

El crecimiento de microorganismos en el suelo depende de los siguientes factores: nutrientes, humedad, oxígeno (para microorganismos aerobios), temperatura y pH. Todos estos factores deben están en rangos adecuados para el desarrollo de los microorganismos, y las variaciones influyen de forma directa en la existencia de tipos y familias específicas. Es decir, en ciertos rangos de los mencionados factores pueden existir un cierto tipo de microorganismos, y al variar las condiciones, impulsan la existencia de otros microorganismos mejor adaptados a las nuevas condiciones.

Un ejemplo de la actividad microbiana en suelos se presenta en los rellenos sanitarios o en la formación de abono, los microorganismos del suelo degradan la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. En el relleno sanitario, los residuos se colocan en la celda diaria de trabajo, posteriormente se compacta y se pone en el material de cobertura, esto genera una cámara de degradación, en la cual, la actividad microbiana se desarrolla inicialmente en condiciones aerobias y posteriormente en condiciones anaerobias. Los microorganismos facultativos o anaerobios descomponen las sustancias orgánicas complejas en ácidos orgánicos más sencillos que posteriormente los hongos y las bacterias aerobias oxidan a CO_2 y H_2O (Glynn, 1999). La actividad de los microorganismos aerobios se va reduciendo conforme se agota el oxígeno que quedó atrapado

en la celda diaria. Posteriormente, en el proceso de descomposición anaerobio se generan dióxido de carbono, ácidos orgánicos, etanol, amoniaco, metano y otros productos que deben ser controlados de acuerdo a lo especificado en la NOM-083-SEMARNAT-2011 para evitar problemas ambientales. Otros métodos de tratamiento de residuos sólidos se estudiarán en el Capítulo 3 del Libro de Ingeniería Ambiental II.

La composta o abono orgánicos se realiza mediante un proceso de degradación aerobia. La finalidad de un proceso en el que los microorganismos tienen un ambiente controlado en: oxígeno, nutrientes, humedad, pH y temperatura, es formar un producto estable, rico en nutrientes y que sirva para recuperar tierras o mejorar suelos. La composta se puede realizar en montones largos de residuos, llamados pilas, o con equipo mecánico especializado, en cualquiera de los dos casos, la actividad microbiana es de tipo exotérmica (se genera calor), lo cual destruye los organismos patógenos en un periodo aproximado de 3 días a 60ºC. A la vez, se debe controlar la temperatura para mantenerla debajo de 70ºC para no matar los hongos (*Mucor*, *Rhizopus*, *Penicillium* y *Aspergillus*) y las bacterias termófilas que producen el abono (Glynn, 1999). En México, el principal uso de la composta es como mejorador de suelos agrícolas ya que, por sus características, aumenta los nutrientes iniciales del suelo y por consecuencia hay un incremento en el crecimiento de las plantas y permite un mayor control en los cambios de temperatura y pH en el suelo.

5.2.2 Microbiología en agua y su tratamiento

El agua está presente en la naturaleza y es utilizada para actividades humanas de diversas formas. En cada uno de los diferentes caminos que recorre el agua existe la posibilidad de contacto con microorganismos. El agua que se precipita hacia la superficie terrestre como lluvia, granizo o nieve, en su trayecto arrastra partículas de polvo que podrían tener adheridas microorganismos. Principalmente, los primeros minutos en que ocurren estos fenómenos de precipitación, se genera éste arrastre de partículas hacia el suelo. Posteriormente, el agua en la tierra puede ser absorvida por la vegetación, evaporarse, filtrarse al suelo y traspasar las capas de materiales hacia un acuífero o fluir hacia ríos, arroyos y lagos, el comportamiento del agua se verá con detalle en el Capítulo 6.

El agua de un acuífero regularmente tiene menor cantidad de microorganismos, respecto a una fuente superficial. El suelo actúa como un filtro para el agua subterránea, por lo que las capas de materiales intervienen en el proceso natural de filtración. Por otra parte, en corrientes superficiales de agua se arrastan y disuelven diferentes sustancias, entre las cuales puede existir materia orgánica que contenga microorganismos. En general, en fuentes superficiales existe una mayor población de microorganismos, con respecto a fuentes subterráneas. Otra forma en que el agua pueda tener microorganismos es que la fuente de agua (subterránea o superficial) este siendo utilizada para descargar agua residual procedente de uso doméstico, comercial o industrial.

De manera similar a como ocurre en el suelo, los microorganismos en el agua requieren un entorno adecuado para su crecimiento. Las características físicas y los nutrientes son fundamentales para la existencia de actividad microbiana. Por mencionar un par de ejemplos, las bacterias aerobias y los protozoarios necesitan oxígeno disuelto para crecer; por otra parte, las algas requieren del nitrógeno y del fósforo. La presencia de microorganismos es un indicador de la calidad de una fuente de agua. Agua limpia o con un bajo contenido de nutrientes, tiene una cantidad pequeña o limitada de microorganismos. Conforme el contenido de nutrimentos aumenta, también se incrementa el número de microorganismos, reproduciéndose los dominantes, por lo que el número de especies se reduce.

En el caso extremo de una corriente contaminada en la que se haya consumido todo el oxígeno, se presentarán condiciones con pocas especies de bacterias anaerobias y/o facultativas.

La interacción de los microorganismos existentes en el agua puede ser de manera cooperativa o competitiva. Estos comportamientos que se presentan en la naturaleza, deben analizarse cuando se diseñan los sistemas de tratamiento biológico del agua. De acuerdo con (Glynn, 1999) se comentan algunos ejemplos de éstas interacciones:

- Algas/bacterias. Se crea una estrecha asociación entre algas (que necesitan dióxido de carbono y producen oxígeno) y bacterias aerobias (que necesitan oxígeno y producen dióxido de carbono) en estanques de oxidación, pantanos y lagos y otros ambientes similares.

- Protozoarios/bacterias. En el tratamiento de aguas residuales municipales por el proceso de lodos activados, las bacterias son los agentes primarios en la conversión de residuos orgánicos en productos finales estables. Al mismo tiempo, los protozoarios consumen y limitan la población bacteriana en una relación depredador/presa, con lo cual se mantiene un equilibrio dinámico en la población microbiana.

- Bacterias/bacterias. La digestión anaerobia de materia orgánica pone de manifiesto la interdependencia de dos grupos de bacterias: las formadoras de ácido, que convierten la materia orgánica en ácidos orgánicos grasos (p.e. ácido acético) y de otros tipos, y las formadoras de metano, que utilizan estos ácidos para producir metano.

Organismos indicadores. El agua para consumo humano puede ser un tranporte de organismos patógenos. Debido a que la detección de organismos patógenos en el agua es tardada y económicamente costosa en los análisis comunes del agua, se emplea un sustituto para la identificación de éstos patógenos. Dado que los organismos no patógenos también están en gran número en el intestino y siempre están presentes en las heces, junto con los agentes patógenos que pudiera haber, pueden servir como indicadores de contaminación fecal.

Las características principales de un buen organismo indicador son i) su ausencia implica la inexistencia de patógenos entéricos; ii) la densidad de los organismos indicadores está relacionada con la probabilidad de presencia de patógenos; y iii) en el medio los organismos indicadores sobreviven un poco más que los patógenos. No existe un organismo ideal indicador de esta naturaleza, pero la presencia de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales y *Clostridium perfringens* se considera como un indicio de contaminación por heces, y se ha empleado para valorar la calidad del agua. Las bacterias coliformes totales son las que se usan con mayor frecuencia como organismos indicadores. Este grupo incluye "todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gramnegativas, no formadoras de esporas y con forma de bastón que fermentan lactosa con producción de gases antes de 48 horas a 35ºC" (APHA et al, 1985). El grupo de coliformes se compone de *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Citrobacter fruendii* y bacterias afines.

El agua para consumo humano no debe tener ningún tipo de coliforme, por ello el total de éstos se utiliza como indicador de contaminación fecal. El recuento de estreptococos fecales (EF), otro tipo de bacterias intestinales, más abundantes en los animales que en los humanos, suele hacerse en conjunto con los coliformes fecales (CF), y la razón de ambos grupos (CF/EF) se emplea para diferenciar la fuente de la contaminación. Con un valor de 4.0 o más, la contaminación se presume

debida a desechos humanos, en tanto que las razones menores de 0.7 indican contaminación por desechos animales. Además, la presencia de *C. perfringens* indica contaminación fecal remota (Glynn, 1999). El recuento de indicadores bacterianos se lleva a cabo por medio de dos métodos alternativos: la técnica de fermentación en tubos múltiples, también llamada procedimiento del número más probable, o NMP, y el método de filtración por membrana o método FM.

Recuadro (5.2)
Técnica de fermentación en tubos múltiples

La aplicación de la técnica considera tres etapas: prueba presuntiva, prueba confirmativa y prueba complementaria. En la prueba presuntiva la actividad metabólica de las bacterias es estimulada vigorosamente y ocurre cuna selección densa de organismos que utilizan la lactosa. Después de la incubación a 35ºC, un cultivo de cada tubo gas-positivo en la prueba presuntiva se transfiera a un tubo de medio para la prueba confirmativa. Esta prueba reduce la posibilidad de resultados falsos gas-positivos que pueden ocurrir por la actividad metabólica de los organismos formadores de esporas o por la producción sinergística de gas debido a que algunas cepas bacterianas no pueden, individualmente, producirlo a partir de la fermentación de la lactosa. Es ocasionalmente necesario aislar estar bacterias productoras de gas e identificarlas como coliformes por la prueba complementaria para verificar que esta prueba confirmativa ha eliminado selectivamente todos los tubos con resultados falsos gas-positivos.

Fuente: www.bvsde.paho.org

Recuadro (5.3)

Método de filtración por membrana

El procedimiento del método es:

1. Colocar la membrana de 0,45 mm en el soporte con pinza esteril.
2. Homogeneizar la muestra agitandola vigorosamente 25 veces, con movimientos de arriba abajo.
3. Verter 100mL. de la muestra, en el vaso del filtro y aplicar vacio, para hacer pasar la muestra a traves de la membrana. El vacio no debe exceder de 15 libras de presion.
4. Enjuagar el vaso tres veces, con porciones de 20 a 30 mL. cada vez, de agua de dilucion, y aplicar vacio igual que en la muestra.
5. Cada vez que se procesen muestras incorporar un control de esterilidad de agua de dilucion. Si se procesa un mayor numero de muestras incorporar este control cada 10 muestras.
6. Retirar la membrana con una pinza esteril y depositarla en una placa Petri plastica, preparada previamente con 4 mL. de agar M Endo Les. Las placas preparadas se guardan en refrigeracion y protegidas de la luz, y pueden usarse hasta dos semanas despues de su preparacion.
7. Presionar suavemente la membrana sobre el medio de cultivo utilizando pinza esteril.
8. Incubar 22 a 24 hrs. a 35+/- 0,5o C, en incubadora de aire con 15 % de humedad o en caja plastica cerrada con esponja humedecida.
9. Contar las colonias tipicas y atipicas. Colonias típicas: color rojo, con brillo metálico. Colonias atípicas: color rojo intenso sin brillo metálico

Fuente: www.bvsde.paho.org

Con el desarrollo de las grandes ciudades y el avance tecnológico, la contaminación del agua se ha vuelto cada vez más preocupante ya que no sólo se tiene la descarga de las urbes, también está la descarga de zonas agrícolas que con el paso del tiempo han incluido e incrementado el uso de sustancias químicas contaminando más el agua y además las descargas industriales. Esta contaminación ha dado lugar a la búsqueda de medios para reducir y mitigar la cantidad de contaminantes presentes en el agua.

El tratamiento de aguas residuales es la aplicación más extendida en donde los microorganismos se encargan de descomponer los residuos. Su finalidad es minimizar la concentración de los contaminantes presentes para que, al término del tratamiento, el agua resultante pueda devolverse a un cauce natural mitigando las afectaciones al medio. Existen diversas etapas en el tratamiento de aguas residuales: tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario y tratamientos específicos para algunos contaminantes. Regularmente, en el tratamiento secundario es cuando se emplean los procesos biológicos para eliminar un gran porcentaje de la materia orgánica coloidal y disuelta; estos procesos también se llegan a utilizar en el tratamiento terciario dependiendo de las especificaciones que se necesiten cumplir en el efluente. En general, los procesos microbianos que se

llevan a cabo en el tratamiento secundario son aerobios, por lo que las bacterias transforman la materia orgánica en elementos estables tales como dióxido de carbono, agua, nitratos, entre otros.

Además, existen los métodos de tratamiento para reducir la presencia de microorganismos patógenos, se mencionan a continuación los más utilizados.

Cloración. Es la adición de cloro al agua en una cantidad y tiempo de contacto suficiente para la inactivación de los microorganismos patógenos. Regularmente debe determinarse la dosis de cloro necesaria para destruir los microorganismos, además de una cantidad de cloro residual en el agua, la cual protege de la posible contaminación posterior con nuevos patógenos.

Precipitación química. Debido a que los microorganismos son muy pequeños no se pueden remover mediante una sedimentación convencional porque el tiempo de retención sería demasiado largo y se requerirían condiciones estáticas. Al agregar un coagulante al agua, por ejemplo, sulfato de aluminio, se forman flóculos (grumo formado por la agregación de partículas sólidas en una suspensión coloidal) que posteriormente pasan a un tanque para su sedimentación.

Filtros de arena. Generalmente se encuentran después de los tanques de sedimentación. Un filtro consta de varias capas de arena o arena y carbón de antracita y se utiliza para remover los sólidos suspendidos que no pudieron removerse con los procedimientos anteriores.

Rayos ultravioleta (UV). La radiación UV inactiva a los microorganismos mediante un proceso físico de manera rápida y eficiente, como resultado del daño fotosintético a los ácidos nucleicos. Cuando las bacterias, los virus y los protozoos se exponen a las longitudes de onda germicidas de la luz UV se inhiben sus capacidades de reproducción, y por ende de infección.

Ozonación. La ozonación es parecida a la cloración, ya que se mezcla ozono con agua para la eliminación de microorganismos. Para realizar la mezcla se utiliza aire con una concentración determinada de ozono que se hace pasar directamente, por medio de difusores o por inyección en el agua. La transferencia del ozono al agua se rige por la Ley de Henry, es decir, que las cantidades disueltas están en función de la presión parcial en el punto de aplicación y la temperatura en la interfase agua-gas. Una ventaja del ozono sobre el cloro es la destrucción prácticamente instantánea de microorganismos sin que exista modificación en el sabor del agua o formación de trihalometanos, sin embargo, el ozono no protege al agua de una contaminación posterior a su aplicación.

5.2.3 Microbiología en atmósfera e interiores

La atmósfera no es un medio propicio para que los microorganismos puedan vivir y crecer; no obstante, pueden sobrevivir en estado vegetativo dependiendo de su resistencia a condiciones sin humedad y a la radiación UV. Por su parte, en forma de esporas las bacterias y los hongos pueden resistir periodos largos en la atmósfera. Algunos protozoarios forman quistes, permitiéndolse sobrevivir en condiciones adversas. Las células vegetativas son menos resistentes que las esporas o los quistes, ya que no sobreviven más de unos cuantos días en la atmóstera. Las esporas y los quistes una vez que encuentran condiciones favorables se desarrollan en células vegetativas.

El aire es un medio de transporte importante para los microorganismos. La atmósfera es mucho más efectiva que el agua para el traslado de virus, bacterias, hongos y protozoarios. Los microorganismos pueden viajar de forma independiente en el aire o estar adheridos a materiales particulados, como el polvo y los aerosoles líquidos o las gotas finas. El tamaño y peso del material particulado influye en el tiempo de suspención y por tanto de transporte, cuanto más pequeña es la partícula más tiempo permanecerá suspendida en el aire y podrá recorrer distancias más largas. Por ejemplo, las esporas de bacterias y hongos son muy pequeñas y se han encontrado a varios kilómetros de altura sobre la superficie terrestre, en cotraparte, los quistes que forman los protozoarios son pesados y se depositan en la superficie terrestre en minutos.

El material particulado proviene tanto de fenómenos naturales como de actividades humanas. El grueso del material particulado es de origen natural, aunque la estimación de la contribución de las actividades humanas varía entre el 5 y el 45% del total (Glynn, 1999), dependiendo de la actividad agrícola, industrial, energética y de transporte en cada país. El humo, el polvo industrial y de las erupciones volcánicas son la porción principal del material particulado del aire, sin embargo los microorganismos adheridos a éstos son relativamente pocos. Por otra parte, los polvos de zonas agrícolas y urbanas, océanos y bosques transportan esporas por la atmósfera baja. Evidencia de esto, es que se han encontrado esporas de bacterias y hongos en muestras de aire tomadas a alturas de hasta 3,000 m al norte del océano Atlántico.

El aire en interiores tiene una mayor concentración de microorganismos. Las condiciones de velocidad del aire, ventilación, hacinamiento y actividades que se llevan a cabo en algún espacio interior influyen en la cantidad y el tipo de microorganismos. Por ejemplo, en espacios libres la cantidad de aire disponible por persona es prácticamente ilimitada, y la velocidad y el movimiento natural del aire difunde y distribuye constantemente el material particulado. Bajo techo como: oficinas, casas, fábricas, escuelas, laboratorias, transporte privado o público las actividades de las personas generan microorganismos, que únicamente podrán ser transportados por el aire en un espacio confinado. La eliminación depende de la eficiencia de los sistemas de ventilación y filtración. La conversación, la tos y el estornudo de una persona infectada, emiten organismos patógenos en el aire que son transportados hacia potenciales sujetos de infección.



Actividad 5.2.

Una bacteria que hace milagros.

Realiza la actividad propuesta considerando lo visto en el video “Una bacteria que hace milagros”.

5.3 Epidemiología y enfermedades

La historia de las enfermedades de transmisión o infecciosas ha pasado por diferentes épocas. El miasma (aire malo o insalubre) fue una de las primeras explicaciones respecto al medio por el cual se contagiaba una enfermedad en los humanos. De acuerdo con esta teoría el agente etiológico o causal de las enfermedades existía en el miasma, es decir, flotaba y se transportataba por el aire. Relacionada a estos planteamientos, surgió la malaria, cuyo significado es "mal aire". La teoría del miasma fue la explicación generalizada y aceptada como causal de enfermedades hasta el establecimiento de la teoría de los gérmenes (microorganismos) en el siglo XVII.

Durante la Edad Media existieron epidemias que generaron numerosas pérdidas humanas, fueron un atroz laboratorio de aprendizaje real. Los momentos más lamentables fueron: a) epidemia de lepra en el siglo VI, b) la peste bubónica en 1348 y c) la sífilis en 1500. Fracastoro en el siglo XVI, luego de un detallado trabajo de investigación tenía claro el concepto de enfermedad contagiosa, sin embargo, prevalecía la idea de que el medio de transmisión era el aire y no los microorganismos. Hasta el siglo XVII con el desarrollo del primer microscopio con un lente de aumento adecuado, fue que Leeuwenhoek pudo observar por primera vez microorganismos, iniciando con el estudio de protozoarios y bacterias.

La teoría de la transmisión de efermedades por el aire se fundamentaba en observaciones de que los casos eran más abundantes en las áreas sucias y hacinadas de las ciudades, lo que motivó trabajos en mejoras sanitarias durante el siglo XIX. Las ciudades de aquellos tiempos tenía plazas públicas con grandes cantidades de desechos en descomposición, cuando eran limpiadas se reducía la incidencia de enfermedades infecciosas. La conclusión de que el grado de saneamiento tenía algo que ver con las enfermedades tuvo como base la observación empírica y no una comprensión teórica del contagio. En 1849 John Snow, publicó un panfleto titulado *On the Mode of Communication of Cholera* (acerca del modo de comunicación del cólera). Dos epidemias de cólera en Londres sirvieron para poner a prueba sus teorías. Snow concluyó que "se deben tragar cantidades minúsculas de las eyecciones y deyecciones de los pacientes de cólera", hipótesis resultado del estudio de la epidemia del pozo de Broad Street (Glynn, 1999), el detalle de este suceso se presenta en el Capítulo 6.

Hacia la segunda mitad del siglo XIX con los trabajos de Pasteur, Lister y Koch se pudo soportar la teoría de los microorganismos patógenos o gérmenes. Los estudios de estos investigadores pudieron aislar y cultivar microorganismos que producían enfermedades específicas. Con ello, explicaron la relación entre el portador (alguien que no está enfermo clínicamente pero lleva consigo la infección) y el insecto huésped en ciertos padecimientos, esto permitió comprender el cómo se transmitía la enfermedad sin contacto aparente entre pacientes infectados.

En la actualidad es bien conocido el potencial del agua para propagar epidemias masivas. En los primeros años del siglo XX, los intentos por controlar la fiebre tifoidea y diversas afectaciones entéricas (o intestinales) dieron por resultado múltiples patentes respecto al uso de agentes oxidantes y otras técnicas de purificación del agua. La primera aplicación de la cloración en gran escala tuvo lugar en 1908 en el embalse Boonton de la planta de abastecimiento de agua de la ciudad de Jersey en Estados Unidos. A partir de 1920, las afecciones entéricas han sido erradicadas casi por completo en la mayor parte de los países desarrollados (Glynn, 1999).

5.3.1 Patógenos

Un organismo patógeno se define como aquel agente causante de infección en un huésped con vida. La actividad del patógeno transforma el funcionamiento fisiológico normal en su huésped: individuos o células, por lo que, su comportamiento se asemeja al de un organismo parásito. Los cambios en la fisiología del huésped se muestran como síntomas de enfermedad: inadecuada digestión, incremento de temperatura, modificación de la química sanguínea, principalmente.

La infección se refiere al metabolismo del patógeno, lo que implica que el agente que produce la enfermedad está creciendo y reproduciéndose en el huésped, quien al inicio puede presentar o no los síntomas del padecimiento. En el organismo del huésped ocurre una reacción de defensa hacia el agente patógeno que se manifiesta al producir anticuerpos. Los anticuerpos combaten la infección, por lo que el huésped puede efermar, recuperar, estabilizar los síntomas (no se manifiestan) o en caso extremo morir. La virulencia se asocia con la capacidad del agente patógeno en ocasionar daño en el huésped. La virulencia pone de manifiesto la capacidad de infección del patógeno contra la capacidad de generar anticuerpos del huésped. Los factores ambientales, las características del patógeno y las condiciones fisiológicas del huésped influyen en la virulencia. Algunas especies de organismos patógenos como bacterias, virus, algas, hongos, protozoarios y helmintos con la virulencia suficiente para afectar la salud humana se muestran en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Organismos patógenos

Enfermedades	Características
Bacterianas	
Ántrax	Lana y pieles animales contaminadas; carne semicruda infectada; inhalación de esporas arrastradas por el aire.
Botulismo	Toxina termolábil que se produce en alimentos no ácidos en empaques anaerobios; organismos del suelo y del tracto intestinal de los animales.
Brucelosis o fiebre ondulante	Contacto con cerdos, ganado, cabras y caballos infectados; el uso de leche y derivados de ella sin pasteurizar o procesar es la causa de casos y brotes esporádicos.
Cólera	Las heces o portadores de agua contaminada, leche, alimentos o incluso a través de moscas; la oleada inicial del cólera epidémico se trasmite por agua.
Peste bubónica y selvática	Organismos trasmitidos por pulgas de ratas y roedores silvestres; el vómito contaminado de la pulga penetra la piel durante la picadura.
Salmonelosis	Las heces de los animales y personas infectadas contaminan los alimentos; los organismos se multiplican en la comida no refrigerada y suministran dosis masivas.

Enfermedades	Características
Shigelosis o disentería bacilar	Cuatro grupos del bacilo disentérico, *Shigella dysenteriae*, *S. flexneri*, *S. boydii* y *S. sonnei*, salen en las heces y regresan directamente a la boca o por medio del agua, los alimentos, las moscas u objetos que se ensucian con heces.
Fiebre tifoidea y paratifoidea	Las heces y la orina de ciertos enfermos y de portadores vertida en agua, leche, alimentos y moscas.
Por rickettsias	
Tifus endémico y tifus epidémico	Las pulgas trasmiten las rickettsias ya sea de rata a rata o de rata a humanos; los organismos de las heces de las pulgas penetran por picaduras y abrasiones recientes.
Virales	
Hepatitis infecciosa	Los brotes se han relacionado con agua, leche y alimentos contaminados, incluso mariscos.
Fiebre amarilla	Fiebre amarilla urbana de casos humanos por *Aedes aegypti*; fiebre amarilla selvática de monos y titíes por mosquitos forestales.
Por protozoarios	
Amibiasis o disentería amibiana	Transferencia de mano a boca, contaminación por verduras crudas, moscas, manos sucias de manipuladores de alimentos, agua.
Malaria	Tres tipos de plasmodio se trasmiten de persona a persona por medio de una de las aproximadamente 20 especies del mosquito anopheles, que son vectores eficientes.
Giardiasis	Los quistes de *Giardia lamblia* de las heces de humanos contaminan el agua y causan diarrea.
Criptosporidiosis	Los ooquistes de *Cryptosporidium parvum* se expelen en las heces. Los brotes tienen relación con fuentes de abastecimiento de agua contaminadas.
Helmínticas	
Ascariasis o lombrices intestinales	El suelo contaminado con heces de personas infectadas contiene huevos embrionarios; la ingestión de estos suelos o de alimentos crudos que han tenido contacto con el suelo es la ruta de infección.
Enfermedades por anquilostomas	Penetración de la piel por larvas que se desarrollan en suelos contaminados con heces de personas infestadas.
Enfermedades por solitarias	Causadas por *Taenia solium* (porcino) y *Taenia saginata* (bovino). Parásitos intestinales comunes entre los consumidores de carne en áreas ganaderas.

Enfermedades	Características
Esquistosomiasis	Los huevos de *Schistosoma mansoni* y *S. japonicum* salen con las heces de humanos y de *S. hematobium* con la orina para seguir su ciclo en agua a través de tipos específicos de caracoles, hasta la forma de cercaria que penetra la piel humana; los animales domésticos y los roedores silvestres albergan *S. japonicum*.

Fuente: (Glynn, 1999).

Los patógenos son causantes de epidemias. La virulencia de los organismos puede generar afectaciones en una gran cantidad de personas en determinada zona geográfica. La existencia de una epidemia se debe a la interacción de tres factores: huésped infectado, mecanismos de transferencia y potenciales huéspedes (sin infección). La dispersión de una epidemia requiere la existencia de huéspedes sin infección y que no estén inmunes, los cuales pueden ser receptores del patógeno virulento. Sin nuevos huéspedes el patógeno tenderá a extinguirse, ya sea porque dé muerte a su huésped infectado o porque los anticuerpos del huésped terminen con los patógenos. Por la razón anterior, se considera que las epidemias son autolimitantes, ya que existe un umbral en el que se presenta de manera independiente o combinada la ausencia de huéspedes potenciales, mayores huéspedes infectados que nuevos o disminución de la virulencia (por aumento de anticuerpos en huéspedes infectados), lo que genera la reducción de nuevos brotes de la enfermedad hasta desaparecer.

Existe una ruta específica de entrada para cada tipo de patógeno. Por ejemplo, para los entéricos su ruta es el sistema digestivo, desde la boca, tráquea, estómago, intestino, recto y ano. En este tipo se encuentran los organismos causantes de tifoidea, gastroenteritis, disentería y cólera, principalmente, éstos necesariamente deben ser ingeridos para que causen la enfermedad. Otro ejemplo, son los patógenos respiratorios, que utilizan el sistema respiratorio desde la nariz hasta los pulmones para infectarlo, por la misma ruta son expulsados hacia otros potenciales huéspedes mediante secreciones de la nariz o garganta, o al estornudar o toser. La tercera ruta es por una raspada, cortada, mordida o picadura en la piel, los patógenos ingresan al sistema circulatorio del huésped y se propagan a órganos abastecidos por la sangre, a veces en esta ruta interviene un tercer participante que puede ser un mamífero menor o insecto quien es portador del patógeno y lo transmite al huésped, regularmente humano o mamífero mayor. Los patógenos utilizan la misma ruta para entrar que para salir, sin embargo, una vez saliendo el agente virulento se encuentra en un medio adverso para su subsistencia, hasta que logra encontrar un nuevo huésped.

5.3.2 Enfermedades de trasmisión por agua

Los organismos patógenos de tipo entérico son los responsables de la mayoría de enfermedades cuya vía de trasmisión es el agua, ya que infectan el sistema digestivo. Las actividades del ser humano requieren un contacto continuo con el agua, por lo que los organismos patógenos de origen intestinal pueden estar presentes en las fuentes de uso del agua, sea para consumo humano, de tipo recreativo, para el riego en la agricultura o bebida para animales de crianza. La ingeniería ambiental tiene una contribución relevante en este tema, ya que por una parte identifica los organismos dañinos al ser humano que pueden generar enfermedades de trasmisión por agua, y también aplica los métodos de

tratamiento más convenientes para eliminar los mismos organismos patógenos y evitar las enfermedades o en casos extremos las epidemias. Es importante aclarar que si bien los organismos patógenos no crecen ni se reproducen en el agua, si sobreviven por varios días y pueden ser transportados hacia huéspedes. La forma más común en la que se transportan los patógenos en el agua es mediante la forma de esporas o quistes, por ejemplo, el patógeno responsable de la enfermedad del tétanos (*Clostridium tetani*), en su forma de espora puede sobrevivir muchos años hasta que encuentra un nuevo huésped en el cual reinicia su ciclo metabólico. En los párrafos siguientes de esta sección se describen algunas enfermedades de trasmisión por agua ocasionadas por organismos patógenos.

Salmonelosis. La salmonelosis en humanos se presenta en tres formas: gastroenteritis aguda, septicemia (envenenamiento de la sangre) y fiebres entéricas, ocasionada por difentes especies de *Salmonella*. Los síntomas de una infección con *Salmonella* (llamada gastroenteritis) son: fiebre por 1 a 4 días, diarrea continua y dolor abdominal agudo, los cuales pueden ser muy fuertes, afortunadamente la tasa de mortalidad es baja. En una infección por septicemia en el huésped algunas bacterias pueden hospedarse en otros órganos como el bazo, los riñones, el corazón y los pulmones, teniendo posibles lesiones en dichos órganos. Una especie común de *Salmonella* en los humanos es *S. Typhi*, causante de la fiebre tifoidea (una fiebre entérica), esta especie sobrevive menos de una semana fuera de un huésped, pero puede sobrevir por mucho tiempo en agua fría o hielo.

Shigelosis. La shigelosis es una enfermedad vinculada con condiciones insalubres, hacinamiento significativo e inadecuado sistema de abastecimiento de agua, esta enfermedad también es conocida como disentería bacilar o diarrea aguda. Las especies patógenas en humanos del género *Shigella* producen los siguientes síntomas: dolor abdominal, diarrea y fiebre posterior al periodo incubación que está entre 1 a 4 días.

Cólera. Las bacterias que generan el cólera se llaman *Vibrio cholerae* (o *V. comma*), las cuales al estar en agua o alimentos son ingeridas por el ser humano. Las bacterias principalmente infectan el intestino delgado, los síntomas se presentan posteriores a un periodo de incubación de 2 a 5 días, siendo: dolor y contracciones abdominales, náusea, vómito y diarrea abundante, que si no es atendida podría ocasionar deshidratación severa, seguida por un shock del cuerpo y en caso extremo el fallecimiento del huésped. El cólera tuvo un origen endémico en el estado de Bengala de la India y en Bangladesh, desde principios del siglo XX estuvo confinado principalmente al sureste asiático. El incremento en la temperatura del planeta y las variaciones climáticas en algunas regiones del mundo, están ocasionando que el cólera vuelva a presentarse en zonas donde se consideraba erradicado (ver caso de México en recuadro 5.4). Las condiciones insalubres son otro factor que propicia un ambiente adecuado para los brotes de esta mortal enfermedad.

Recuadro (5.4)
Caso de cólera en México

En septiembre del 2013 se inició un brote de cólera en México, lo que no ocurría desde la epidemia de 1991-2001. Desde el punto de vista genético, las bacterias aisladas en pacientes mexicanos fueron muy similares (95%) a la cepa que circuló en el mismo tiempo en tres países caribeños (Cuba, Haití y República Dominicana), y diferentes de la cepa que circuló en México durante la epidemia de 1991-2001. En el principio del brote, hasta noviembre de este año se notificaron en el país 180 casos confirmados de cólera por *Vibrio cholerae* O1 Ogawa, uno de ellos mortal. De estos 180 casos, 2 se registraron en la Ciudad de México, 159 en el estado de Hidalgo, 9 en el estado de México, 2 en el estado de San Luis Potosí, y 8 en el estado de Veracruz; 92 de los afectados son del sexo femenino y 88 del sexo masculino, y sus edades oscilan entre los 3 meses y los 88 años.

Fuente: www.who.int

Hepatitis infecciosa. La hepatitis infecciosa es una enfermedad viral trasmitida por agua. La sintomatología común es: dolores de cabeza y de espalda, fiebre, pérdida de apetito y de energía, principalmente. En algunos casos, pocos días despúes de iniciada la infección la fiebre puede disminuir, al tiempo que se presenta ictericia (coloración amarillenta en la piel). Pocos casos de hepatitis infecciosa son mortales, sin embargo, exite una gran proporción de huéspedes que no presenta todos los síntomas, convirtiéndose en portadores desconocidos que pueden expandir la enfermedad mediante el contacto de sus desechos con fuentes de agua o alimentos. Es relevante mencionar que los virus de la hepatitis son tan pequeños que transitan sin ser retenidos por filtros de arena y pueden ser resistentes al tratamiento mediante cloro. Los virus pueden sobrevivir largos periodos fuera de un huésped, y ser transportados hacia fuentes de agua en contacto con el ser humano o con sus alimentos, razón por la cual debe evitarse la contaminación de fuentes de abastecimiento y otros usos del agua.

Amibiasis. El protozoario *Entamoeba histolytica* es el causante de la amibiasis (o disentería amibiana), este patógeno se aloja en el intestino grueso del huésped. El agente infeccioso es relativamente pequeño, su alimento principal son bacterias y restos celulares que van en el excremento. La *Entamoeba histolytica* toma la forma de quistes que se adieren a las heces del huésped, asi es como se dispersa la enfermedad. En algunos casos los protozoarios entran en los tejidos de la piel del huésped, pueden crecen a un tamaño mayor al original, además de continuar su reproducción dentro del cuerpo. En otros casos las amibas mantiene tu tamaño pequeño posterior a su reproducción y forman quistes. Los quistes salen del huésped y pueden permanecer en un ambiente externo, hasta volver a ser ingeridos por un nuevo huésped, momento en el que regresan a una condición activa. Los quistes en un medio acuoso y a temperatura baja pueden sobrevivir más tiempo, por ejemplo en hielo pueden duran un mes, y a una temperatura de 34ºC solamente entre 1 y 2 días.

Giardiasis. La giardiasis es ocasionada por el patógeno *Giardia lamblia*, un protozoario con flagelos que se aloja en el intestino delgado del huésped. Los síntomas principales son: dolor abdominal, diarrea, cansancio, disminución del apetito y náuseas. El periodo promedio de la enfermedad aguda está entre los 2 a 3 meses. Las posibilidades de contagio por cada huésped infectado son muy altas, ya que una

persona con giardiasis puede evacuar más de un millón quistes por gramo de heces. Los quistes tiene forma ovoide, son refráctiles y su tamaño está entre 8 a 14 μm por 6 a 10 μm. Al igual que otros organismos patógenos, una vez que son evacuados por el huésped, a través de las heces fecales, los quistes sobreviven meses, con los riesgos potenciales asociados a la contaminación de agua y alimentos. Para incrementar la eficiencia de la eliminación de los quistes de *Giardia lamblia* se debe tratar el agua con un proceso de coagulación-floculación y filtración.

Criptosporidiosis. La criptosporidiosis es causada por un parásito protozoario entérico llamado *Cryptosporidium*. La sintomatología principal es: diarrea, dolor abdominal, náuseas y vómito, que pueden durar un periodo entre 8 a 30 días. Se considera de mayor afectación que la giardiasis, sin que aún se tenga un tratamiento para combatir la enfermedad. Los huevecillos (también conocidos como ooquistes) de *Cryptosporidium* tiene una forma esférica u ovoide, teniendo un tamaño de 3 a 5 μm. Por ser un organismo patógeno entérico los ooquistes se evacuan en las heces de huéspedes infectados, principalmente mamíferos, pudiendo ser trasmitidos por el agua y teniendo una ruta oral/fecal hacia nuevos huéspedes. El método de tratamiento que se ha encontrado más eficiente para la remoción de los ooquistes de *Cryptosporidium* es la eliminación física: coagulación, floculación, sedimentación y filtración, de manera similar a lo sugerido para eliminar a la *Giardia lamblia*.

Esquistosomiasis. La esquistosomiasis (o bilharziosis) es causada por tremátodos de la sangre (gusanos parásitos) del género *Schistosoma*. Los síntomas son severos y pueden tener afectaciones importantes en la salud del huésped, principalmente son: agrandamiento del hígado, presencia de diarrea y anemia. Es una enfermedad endémica en África, Sudamérica y partes de Asia. Los esquistosomas no son estrictamente microorganismos, el parásito *Schistosoma* deposita sus huevecillos en el intestino del huésped de transporte del cual salen por sus heces. Los huevecillos eclosionan al estar en un medio acuoso a miricidios pequeños y móviles, quienes deben encontrar un caracol como huésped o morirán. Los caracoles posterior a un periodo de incubación excretan cercarías, las cuales pueden sobrevivir entre 2 a 3 días también en un ambiente acuoso. Las cercarías pueden adherirse en la piel del ser humano al entrar en contacto con el agua y luego penetrar hasta encontrar un conducto sanguíneo que las transporte al hígado, donde se desarrollan generando la infección.

5.3.3 Enfermedades de trasmisión por aire

Existen enfermedades de trasmisión por aire causadas por organismos patógenos. Los agentes infecciosos en estos casos tienen como ruta de entrada-salida el sistema respiratorio, algunos ejemplos son: tuberculosis pulmonar (bacteriana), la influenza (viral) y la micosis pulmonar (fúngica). La vía de trasmisión es el aire, sin embargo, se debe aclarar que los microorganismos no vuelan, sino que son transportados en aerosoles (diminutas gotas) o polvo (partículas sólidas muy pequeñas) que son expulsados por la boca o nariz del huésped infectado. Los aerosoles o polvo que llevan a los organísmo patógenos pueden depositarse en superficies de objetos (vasos, mesas, teléfonos, ropa, etc.) y directamente en los huéspedes nuevos (manos, cara, boca, etc.). Cuando interviene un objeto entre el huésped infectado y el nuevo se conoce como contacto indirecto, en el caso contrario, se denomina contacto directo.

Las gotas diminutas o las pequeñas partículas sólidas pueden quedar en objetos intermedios, existiendo un núcleo seco (polvo) que contiene los patógenos adheridos, los cuales regresan a un estado activo al ingresar al sistema respiratorio de un nuevo huésped. El polvo es transportado por corrientes de aire, las cuales pueden ser tan leves como las existentes en una oficina cerrada o los

fuertes vientos de un huracán. Los sistemas de ventilación pueden ser transporte de polvo y aerosoles con organismos patógenos, por ello es importante tener un sistema de ventilación cuyo diseño y operación sea adecuado para lograr ambientes interiores saludables.

El sistema respiratorio del ser humano se estructura en dos: superior e inferior. El tamaño de los ductos de aire y la forma en el sistema respiratorio superior hace que sean retenidas las partículas más grandes, en el caso de organismo patógenos pueden ser los que causen enfermedades como: difteria, influeza, afectaciones virales agudas, sarampión y paperas. El sistema respiratorio está formado por órganos con conductos cuyo tamaño va disminuyendo. La conformación del sistema es un mecanismo de defensa, por ello, solamente partículas de tamaño entre 0.1 y 1.0 μm pueden penetrar hasta el fondo del sistema respiratorio inferior, por el tamaño los organísmos que pueden generar enfermedades trasmitidas por aire son virus, esporas fúngicas y algunas células bacterianas individuales. Las infecciones cuya ruta son alveolos o bronquiolos son de trasmisión por aire, pues por el tamaño del organismo patógeno sólo pueden penetrar el sistema respiratorio al estar suspendidas en el aire. Algunos ejemplos de estas enfermedades son: la tuberculosis pulmonar, la micosis pulmonar y la peste neumónica.

Tuberculosis pulmonar. La enfermdedad más importante de trasmisión por aire es la tuberculosis pulmonar. Es una de las causantes principales de incapacidad y muerte en todo el mundo, contabilizando un millón de casos nuevos cada año. Datos de la Organización Mundial de la Salud considera que sólo es el 10% del número real de casos, ya que puede estar causando de 2 a 3 millones de muertes anuales. El agente responsable es una bacteria con forma de bastón sin esporas, también conocido como bacilo tuberculoso (*Mycobacterium tuberculosis*). Tiene un metabolismo relativamente lento, con un tiempo de regeneración entre 18 a 24 horas, a pesar de que sus necesidades son simples. Los bacilos son sencillos de eliminar, basta con la exposición directa a la luz solar, el calor o el uso de desinfectantes, sin embargo, tienen mayor resistencia a productos químicos y antibacterianos, como la penicilina.

Micosis pulmonar. La micosis pulmonar es una enfermedad de tipo fúngica que se presenta en los bronquiolos y los alveolos. Los hongos al desarrollarse destruyen estas estructuras, reduciendo la capacidad pulmonar. Esta enfermedad en un caso extremo puede producir muerte por asfixia, pero lo más común es la falla del corazón, ya que al existir un esfuerzo adicional para abastecer de oxígeno a los pulmones, se incrementa el trabajo del corazón. Para un control eficaz en la expansión de la micosis pulmonar se debe evitar la propagación de los microorganismos en el ambiente interior, a través del aislamiento completo del paciente o la fuente de infección.

5.3.4 Enfermedades de trasmisión por insectos y roedores

La tercer ruta de entrada y salida al cuerpo humano de organismos patógenos es el torrente sanguíneo. Los insectos como mosquitos, garrapatas, pulgas, piojos, moscas de arena y tse-tsé al picar la piel del huésped pueden introducir organismos en la sangre. Algunos de los insectos mencionados transfieren un patógeno en particular a un huésped humano, esta particularidad los define como organismos vectores.

Hay dos ciclos epidemiológicos básicos en las enfermedades de trasmisión por insectos. El primer ciclo de los insectos a los humanos y de regreso a los insectos se considera el más sencillo. Para que este ciclo ocurra se requiere que el insecto se alimente con sangre humana, además debe ser altamente susceptible y con poder infeccioso para portar el organismo patógeno. La combinación de las tres condiciones no es muy frecuente, sin embargo, cuando esto ocurre, los brotes de la enfermedad son exponenciales. Un par de ejemplos son el paludismo y la tripanosomiasis (enfermedad del sueño), cuyo vector es el mosquito *Anopheles* hembra y la mosca tse-tsé, los que inyectan protozoarios patógenos en el ser humano.

Paludismo. Considerando el número de casos al año, el paludismo es una de las peores enfermedades infecciosas. La enfermedad destruye los glóbulos rojos del huésped infectado, el patógeno causante es un protozoario parásito del género *Plasmodium*. En las zonas originarias del paludismo, la población adulta se ha hecho inmune a la enfermedad, sin embargo, actúa como un reservorio primario del protozoario, por ello se considera en dichas zonas al paludismo como hiperendémico, y de allí se distribuye hacia otras zonas el agente patógeno mediante el transporte en los organismos vectores (mosquitos).

El segundo ciclo epidemiológico es más común, de insecto a vertebrado inferior y de regreso al insecto, en los humanos se presenta como una infección por ruta indirecta (tangencial). En este ciclo, la infección en el ser humano se convierte en un callejón sin salida para la enfermedad. Un par de ejemplos son: la fiebre amarilla (viral) y la peste bubónica (bacteriana), para estas infecciones las aves y los mamíferos son reservorios de los organismos patógenos.

Peste. La peste es una enfermedad tangencial en los humanos, ya que su origen es en comunidades de ratas. Los organismos vectores son las pulgas, quienes trasmiten la peste de una rata a otra, esto se conoció al observar que previo a un brote de peste en humanos existía un brote en comunidades de ratas cercanas a la zona infectada. La peste bubónica, como se le conoce a la peste en humanos, se genera cuando un organismo vector del patógeno (pulga) muerde a un ser humano. Ya en los humanos los bacilos que generan la peste están presentes en los esputos salivales de huéspedes infectados y se distribuyen por contacto directo de una persona a otra o trasmitida por aire en zonas de hacinamiento.

Tifus. El tifus o fiebre tífica son causadas por microorganismos patógenos para los humanos conocidos como rickettsia. Los cuales están conformados por parásitos intracelulares que por sus características y tamaño se encuentran entre las bacterias y los virus. En específico los microorganismos que causan las fiebres tíficas son: *Rickettsia prowazekii*, responsable del tifus epidémico, y *Rickettsia typhi*, común en las ratas, quienes trasmiten sus pulgas hacia los humanos.

La forma más efectiva que se ha encontrado para el control de las enfermedades trasmitidas por insectos es desde el control de los organismos vectores. La utilización de insecticidas en las zonas donde existe la infección aísla al huésped del organismo vector. También se pueden tomar otras medidas encaminadas en reducir o eliminar las comunidades de organismos vectores, como el secado de zonas inundadas o pequeños depósitos de agua, así como, en zona de residuos donde se acumulen líquidos, ya que estas zonas son las preferidas para la reproducción de algunos vectores como los mosquitos. El resultado al realizar estas acciones es romper el ciclo epidemiológico de forma efectiva y por lo tanto controlar la dispersión hacia otras zonas de la enfermedad. Los climas tropicales tienden a acelerar el metabolismos de algunos organismos vectores, al favorecer la incubación eficaz de los mismos, esta situación agrava el problema epidemiológico.



Actividad 5.3.

Línea de tiempo de brotes epidémicos.

Realiza una línea de tiempo de acuerdo con los hechos explicados en el video "America's Deadliest Parasite Outbreak".

5.4 Enfermedades no infecciosas

Los países desarrollados mejoraron sus sistemas sanitarios y de salud durante el siglo XX. Gran parte de las enfermedades de tipo infeccioso parasitario desaparecieron en los países con mejores condiciones de desarrollo. Las mismas condiciones de crecimiento económico han hecho surgir otro tipo de problemáticas en estos países: enfermedades no infeccionsas, algunas de ellas por el efecto de la contaminación al ambiente, otras por los hábitos de consumo y estilo sedentario de vida. En países desarrollados han aumentado las muertes ocasionada por padecimientos degenerativos o enfermedades no infecciosas tales como: cáncer, cardiacas, sistema circulatorio, bronquitis y enfisema. También la situación poblacional en estos países ha sido un factor que influye en el incremento de los padecimientos mencionados, la mayoría de la población es senil y por ello la incidencia de muertes aumenta con la edad. Todavía se está estudiando con detalle la contribución de la contaminación del aire, suelo y agua con sustancias químicas, inorgánicas y orgánicas, pero se tiene la hipótesis de que están altamente relacionadas. Existen documentados episodios de alta contaminación del aire, suelo y agua que han contribuido al incremento en las enfermedades infecciosas.

Un par de ejemplos, son los casos de Minamata en Japón y de Londres en Inglaterra. La bahía de Minamata fue contaminada con mercurio en la década de 1950 y el aire de Londrés tuvo muy altos niveles de contaminantes atmosféricos en los terribles días de diciembre de 1952. En Japón los compuestos de metilmercurio de las aguas residuales industriales vertidos en la bahía de Minamata fueron ingeridos por peces que los bioacumularon (concentraron), posteriormente al ser comidos los peces por la población también acumularon el mercurio. Entre 1953 y 1960, se registraron 111 muertes de envenenamiento por mercurio. En Londres una inversión térmica por la condiciones climáticas del mes (masas frías de aire) ocasionaron la acumulación de smog (humo negro) y SO_2 por arriba de cinco veces los niveles históricos normales, el epidosio de contaminación atmosférica duró 5 días. Los registros de esa época reportaron entre 1,500 y 4,000 muertes, principalmente en poblaciones vulnerables, como aquellos que ya padecían afecciones respiratorias.

Los riesgos a la salud humana por la exposición a contaminantes inorgánicos y orgánicos aún no están totalmente determinados. La gran cantidad de contaminantes que se generan por las actividades industriales y económicas, así como, los nuevos compuestos que se están constantemente creando, hacen aún más difícil la tarea de conocer las implicaciones en la salud humana y de los ecosistemas. Deben seguirse investigando los efectos por diversos contaminantes, con ello se podrán establecer los límites y umbrales en los que es posible mantener el equilibrio en las poblaciones del planeta, para evitar el desequilibrio de los ecosistemas y la consecuente destrucción de la especie humana.

5.4.1 Contaminantes inorgánicos

Arsénico. El arsénico es uno de los principales contaminantes inorgánicos, se obtiene como subproducto de la fundición del cobre y el plomo, en la producción de menas de oro, plata y cobalto, también se utiliza en ciertos insecticidas y fungicidas agrícolas. Su principal medio de transporte es el aire, por lo que puede contaminar cuerpos de agua al ser depositado en éstos, en el agua puede ingresar en la cadena alimenticia por los peces. El arsénico en el cuerpo humano genera envenenamiento, el cual se manifiesta con parálisis de los miembros inferiores, en una etapa avanzada se presentan transtornos gástricos e intestinales que pueden derivar en la muerte. La inhalación del arsénico también puede ocasiona cancer pulmonar. Otros ejemplos de contaminantes inorgánicos comunes se describen en la tabla 5.6.