

capítulo/Uno Ingeniería y desarrollo sustentable

James R. Mihelcic
y Julie Beth Zimmerman

En este capítulo se define desarrollo sustentable y se revisa la historia mundial de la sustentabilidad de los decenios pasados. Se revisan algunos temas emergentes que constituyen retos y oportunidades para futuros ingenieros como los relacionados con población, urbanización, agua, energía, salud y la construcción del medio ambiente.

Secciones principales

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Definición de sustentabilidad
- 1.3 Temas que afectarán la práctica de la ingeniería en el futuro
- 1.4 La revolución sustentable

Objetivos de aprendizaje

1. Identificar diez temas ambientales emergentes que tengan relevancia local y mundial.
2. Definir desarrollo sustentable e ingeniería sustentable en palabras del lector y en palabras de otros.
3. Redefinir los problemas ingenieriles en un contexto equilibrado desde el punto de vista social, económico y ambiental.
4. Relacionar *Los límites del crecimiento*, “La tragedia de los bienes comunes” y la definición de la capacidad de persistencia con el desarrollo sustentable.
5. Identificar las preocupaciones que enfrentan los ciudadanos de países en vías de desarrollo.
6. Resumir los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (MDG) y los grupos de metas establecidas por la comunidad mundial.
7. Identificar los MDG que le interesan al lector y analizar cómo usted, en su papel de ingeniero, puede contribuir a lograr esas metas.
8. Relacionar cada uno de los ocho MDG con la práctica de la ingeniería.
9. Identificar qué tipo de riesgos ambientales existen para las personas que viven en el mundo en vías de desarrollo y cuál es su magnitud.
10. Analizar los problemas provocados por los motores mundiales de cambio (como población, urbanización, uso de suelo y clima) y las maneras en que la ingeniería puede ofrecer soluciones.
11. Definir desarrollo sustentable y explicar cómo se relaciona con temas como crecimiento de la población, urbanización, salud, saneamiento, escasez de agua, conflictos de agua, consumo de energía, clima, químicos tóxicos, uso de materiales y la construcción del medio ambiente.
12. Identificar recursos en Internet relacionados con temas mundiales de sustentabilidad, medio ambiente y salud.
13. Describir el contexto histórico de la revolución sustentable y de los cambios relacionados con el uso del vocabulario común.



1.1 Antecedentes

Los ingenieros juegan un papel crucial en el mejoramiento de los estándares de vida en el mundo entero. En consecuencia, los ingenieros tienen un impacto significativo en el progreso hacia un desarrollo sustentable.

Federación Mundial de Organizaciones de Ingeniería (2002)

El movimiento ambiental en Estados Unidos empezó a ganar terreno hacia finales de los años 1960 y principios de los años 1970 con la creación de la Agencia de Protección Ambiental (EPA). En ella se consolidaron una gran variedad de investigaciones, monitoreos, establecimiento de parámetros y reforzamiento de actividades federales. Durante esos mismos decenios, el Congreso aprobó regulaciones ambientales clave como la ley nacional para la protección del ambiente (NEPA), la ley por un aire limpio, la ley para el control de la contaminación del agua y la ley para las especies en peligro de extinción. Estas leyes fueron diseñadas para atender flagrantes desafíos ambientales, como el del río Cuyahoga, que se incendió en 1969, y de vecindarios como el de Love Canal en las cataratas del Niágara en Nueva York, receptores de desechos tóxicos y sus subsecuentes problemas sanitarios.

Aunque se han logrado enormes progresos al atender los insultos ambientales más significativos y manteniendo el crecimiento de la economía, los desafíos ambientales actuales son más sutiles y complicados. Implican claras conexiones entre las emisiones al aire, tierra y agua y provienen de fuentes muy distribuidas. Además, se comprenden más profundamente los nexos que existen entre la sociedad, la economía y el medio ambiente. En estos casos, hay que reconocer que las innovaciones científicas, tecnológicas y políticas son poderosas herramientas para avanzar en dichas áreas para beneficio mutuo.

Recuadro / 1.1 Rachel Carson y el movimiento moderno ambientalista



Rachel Carson en la montaña Hawk, Pennsylvania (foto tomada hacia 1945 por Shirley Briggs, cortesía de la colección Lear/Carson, Connecticut College).

Rachel Carson es considerada una de las líderes del movimiento moderno ambientalista. Nació 15 millas al noreste de Pittsburgh en 1907. Hizo estudios de grado y posgrado en ciencia y zoología, en un principio trabajó para la agencia gubernamental, que se convertiría en el Servicio de pesca y vida silvestre de Estados Unidos. Se destacó en su labor como mujer de ciencia al comunicar complejos con-

ceptos científicos al público en general mediante un estilo de escritura claro y preciso. Escribió varios libros, entre ellos *The Sea Around Us* (*El mar que nos rodea*, publicado en 1951) y *Silent Spring* (*Primavera silenciosa*, publicado en 1962).

Primavera silenciosa fue un éxito comercial poco después de su publicación. Capturó de manera dramática el hecho de que las aves canoras enfrentaban problemas de reproducción y muerte prematura que se asociaban con la manufactura y uso generalizado de químicos como el DDT, que se habían bioacumulado en sus cuerpecillos. Algunos historiadores creen que *Primavera silenciosa* fue el catalizador inicial que condujo a la creación del movimiento ambientalista en Estados Unidos, incluyendo el establecimiento de la Agencia de Protección Ambiental de ese país.

Es a través de modernas innovaciones científicas, tecnológicas y de política que se puede mantener la prosperidad económica y, al mismo tiempo, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Este objetivo de crear y mantener una sociedad próspera se debe lograr sin los impactos negativos que históricamente han dañado los recursos naturales, el medio ambiente y las comunidades. Ello requiere una nueva perspectiva y un renovado entendimiento de los daños ambientales que tradicionalmente se han asociado con el desarrollo.

Como Albert Einstein decía, “no podemos resolver problemas usando el mismo tipo de pensamiento que empleamos cuando los creamos”. Mediante la conciencia de la sustentabilidad, que se define en la siguiente sección, se puede avanzar, a largo plazo y simultáneamente, en la sociedad, el medio ambiente y la economía para la prosperidad de futuras generaciones. En particular, los ingenieros tienen un papel único, porque producen un efecto directo en el diseño y desarrollo de productos, procesos y sistemas, así como en los sistemas naturales mediante la selección de los materiales, de los emplazamientos de sus proyectos y el destino de los productos de desecho.

La población mundial excede los 6 mil millones y 80 millones de personas nacen cada año. El consumo de recursos per cápita también está a la alza. Por ejemplo, el ser humano se apropia de más de 25% de la energía solar, terrestre y acuática que los productores primarios (plantas y cianobacterias) capturan mediante la fotosíntesis. Con sólo duplicar dos veces más el impacto humano en los recursos naturales mundiales, a través de una combinación de aumento en la población y un crecimiento económico basado en el consumo de combustibles, traería como consecuencia que el ser humano utilizara 100% de la producción neta. Esta imposibilidad ecológica dejaría a los ecosistemas sin nada. Las consecuencias también tendrían implicaciones catastróficas para el ser humano debido a su arraigada dependencia de los ecosistemas para la prosperidad económica y la salud (Daly, 1986).

Leyes y regulaciones

<http://www.epa.gov/lawsRegs>



© Steve Geer/iStockphoto.

La historia de cosas varias

<http://www.storyofstuff.com>

Recuadro / 1.2 Tragedia de los comunes

“La tragedia de los comunes” describe la relación en la que los individuos o las organizaciones consumen recursos compartidos (por ejemplo agua dulce, peces del océano) y luego regresan sus desechos a un recurso compartido (aire, tierra). De este modo, el individuo o la organización recibe todo el beneficio del recurso compartido, pero distribuye el costo entre todo aquel que también use dicho recurso. La tragedia se desata cuando cada individuo u organización

falla porque, negligentemente, no reconoce que todos los demás están actuando del mismo modo.

Es esta lógica la que ha conducido a la actual situación de la pesca oceánica, de la selva del Amazonas y el cambio climático mundial. En todos los casos, el comportamiento consumista de unos cuantos ha llevado a un impacto significativo para muchos y a la destrucción de la integridad de un recurso compartido.

A medida que la población mundial y su consumo per cápita se incrementan, también aumenta la urgencia de tener ingenieros que protejan y estimulen el medio ambiente y las comunidades en donde reside la gente. Esto, sin embargo, representa numerosos desafíos para los ingenieros. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, que se describe en la siguiente sección, enumera diez problemas ambientales existentes y emergentes (tabla 1.1). Los ingenieros están comprometidos, o pronto lo estarán, con el desarrollo de soluciones sustentables para todos estos problemas.

Tabla / 1.1**Problemas ambientales existentes y emergentes**

1. Globalización, comercio y desarrollo
2. Cómo enfrentar el cambio climático y la variabilidad
3. Crecimiento de megaciudades
4. Vulnerabilidad humana ante el cambio climático
5. Agotamiento y degradación del agua dulce
6. Degradación marina y de las costas
7. Crecimiento de la población
8. Aumento del consumo en los países en vías de desarrollo
9. Agotamiento de la biodiversidad
10. Bioseguridad

FUENTE: Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente.

1.2 Definición de sustentabilidad

Si usted busca en Google las palabras *sustentabilidad*, *desarrollo sustentable* e *ingeniería sustentable* obtendrá más de 300 definiciones. ¡Inténtelo! La abundancia de definiciones varias provoca que a algunos se les dificulte comprender el concepto de sustentabilidad.

La ingeniería sustentable se define como el diseño de sistemas humanos e industriales que aseguren que el uso que hace la humanidad de los recursos y los ciclos naturales no lleven a disminuir la calidad de vida por causa de la pérdida de futuras oportunidades económicas, o bien, por el impacto adverso en las condiciones sociales, la salud humana y el medio ambiente. (Mihelcic et al., 2003)

Bajo esta definición, la sustentabilidad requiere integrar los tres elementos de la línea triple principal (medio ambiente, economía, sociedad). La mayoría de las definiciones incorporan esta triplete principal junto con el deseo de satisfacer las necesidades de generaciones actuales y futuras. La definición dada aquí, a diferencia de muchas publicadas sobre el tema de sustentabilidad, describe explícitamente el papel de los ingenieros al destacar el diseño de sistemas humanos.

Durante varios decenios se han llevado a cabo en todo el mundo numerosas discusiones que han aportado contribuciones significativas al concepto de sustentabilidad. Los ingenieros deberían entender el contexto histórico de estas discusiones. Por ejemplo, es significativa la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente humano realizada en Estocolmo en 1972, porque por vez primera se añadió el medio ambiente a la lista de problemas mundiales. Como prueba, el Principio 1 de la Declaración de la conferencia de Estocolmo afirma que:

Perspectivas del medio ambiente global (GEO)

<http://www.unep.org/GEO>

El hombre tiene el derecho fundamental a la libertad, a la igualdad, a condiciones de vida adecuadas y a un medio ambiente de calidad que le permita una vida digna y de bienestar, y él tiene la responsabilidad solemne de proteger y mejorar el medio ambiente para generaciones presentes y futuras.

El principio 2 establece que:

Los recursos naturales de la Tierra, incluidos aire, agua, tierra, flora y fauna y especialmente las muestras representativas de ecosistemas naturales deben salvaguardarse apropiadamente para el beneficio de generaciones presentes y futuras mediante una planeación y una administración cuidadosas.

La conferencia de Estocolmo también arrojó como resultado la creación del **Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP)**. Visite www.unep.org para saber más acerca de esta organización y de los problemas ambientales. La misión de la UNEP es:

Proveer liderazgo e impulsar las relaciones que cuiden el medio ambiente al inspirar, informar y permitir a las naciones y a las personas que mejoren su calidad de vida sin comprometer la de generaciones futuras. (www.unep.org)

Adicionalmente, el Club de Roma, grupo de 30 individuos de diez países que se organizaron en 1968 para discutir el predicamento presente y futuro de la raza humana, publicó en 1972 un libro de gran influencia. La obra, **Los límites del crecimiento** (Meadows et al., 1972), advertía sobre las limitaciones de los recursos mundiales, y señalaba que podrían agotarse los recursos restantes para la industrialización del mundo en vías de desarrollo. En *Los límites del crecimiento* los autores emplearon modelos matemáticos para demostrar que “el modo básico en que se comporta el sistema mundial es un crecimiento exponencial de la población y del capital, seguido de un colapso”.

La capacidad de persistencia es una manera de considerar las limitaciones de los recursos. La **capacidad de persistencia** se refiere al tamaño máximo o límite superior (por ejemplo, la biomasa) que se impone mediante la resistencia ambiental. Por su naturaleza, esta resistencia se relaciona con la disponibilidad de recursos renovables como la comida, y de recursos no renovables como el espacio, en la medida en que la biomasa se ve afectada por la reproducción, el crecimiento y la supervivencia.

Una solución a los problemas ambientales del mundo es la utilización de los avances tecnológicos que resuelvan el problema de aquellos recursos que se agotan o que cada vez sean más difíciles de extraer. Sin embargo, como lo demuestra *Los límites del crecimiento*, en el pasado la sociedad ha “evolucionado en torno al principio de luchar contra los límites en lugar de aprender a vivir con ellos”. Esto se demuestra en la figura 1.1, que se refiere a la industria de las ballenas. Históricamente, el ser humano ha sido capaz de vivir dentro de un sistema de recursos finitos. No sólo tenía acceso a una cantidad relativamente grande de recursos y de tierra disponibles, sino que además tenía una población limitada que generaba un cantidad limitada de contaminantes. No obstante, el aumento en la población y la producción industrial que conllevan al incremento del consumo podrían hacer inviable esta tendencia histórica en la que el mundo puede moderar el impacto ambiental del ser humano en el largo plazo.



Discusión en clase

¿Cómo se asienta la disciplina de la ingeniería ambiental en estos dos principios?



Discusión en clase

En materia de crecimiento, ¿es mejor vivir dentro de determinados límites y aceptar ciertas restricciones en el consumo de combustibles?

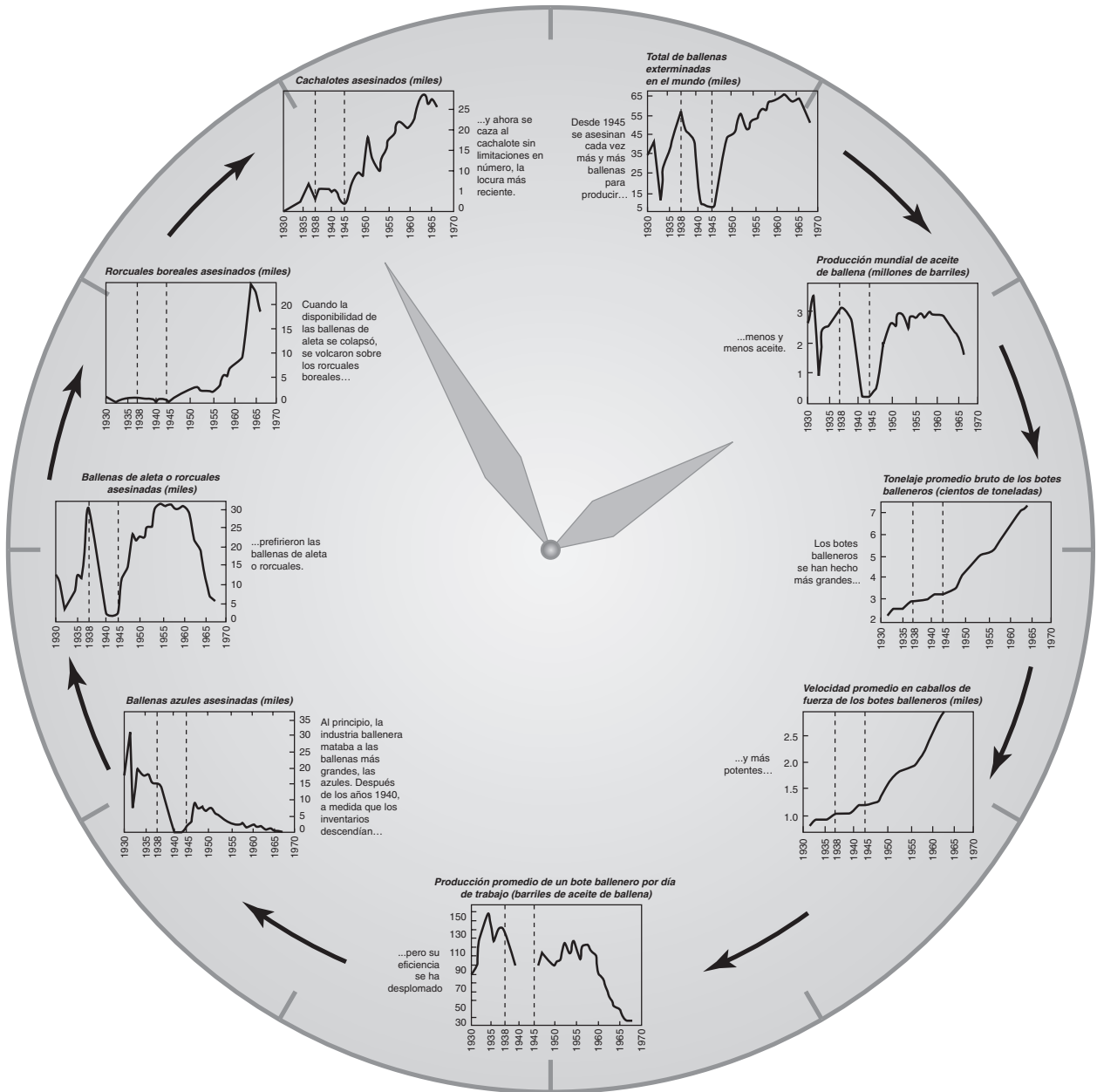


Figura 1.1 Límites al crecimiento y a la tecnología de la industria ballenera. Mantener el crecimiento de un sistema limitado a través de los avances tecnológicos resultará finalmente en la extinción de las ballenas y de la industria ballenera. A medida que se destruyen las manadas de ballenas salvajes, encontrar supervivientes se ha hecho una tarea cada vez más difícil y que requiere de mayor esfuerzo. Mientras más ballenas grandes se exterminan, más se explotan las especies pequeñas a fin de mantener viva la industria. Sin límites en las especies, siempre se capturarán las ballenas grandes, cada vez que se les encuentre y dondequiera que estén. En consecuencia, las ballenas pequeñas subsidian la exterminación de las grandes.

Adaptado de Payne, 1968.

Recuadro / 1.3 Desarrollo sustentable y la doctrina de la custodia de los bienes comunes

Durante siglos, los recursos naturales que se encuentran bajo la custodia pública han estado disponibles y abiertos a la comunidades. **La doctrina de la custodia de los bienes comunes**, que cada estado adapta a su parecer, busca determinar los derechos en áreas en las que se desata un conflicto entre los usos público y privado de la propiedad. Por ejemplo, aplicada a los recursos acuíferos y de ingeniería ambiental, la doctrina de la custodia de los bienes comunes determinaría el equilibrio apropiado entre la utilización que hacen los sectores público y privado de las aguas navegables y de las playas.

Los argumentos legales en torno a la doctrina de la custodia de los bienes comunes están relacionados con las definiciones de sustentabilidad. Por ejemplo, la sección 101 de la NEPA (42 U.S.C. § 4331) establece que:

El Congreso, en reconocimiento del profundo impacto que la actividad humana tiene en la interrelación de todos

los componentes del medio ambiente natural, particularmente la profunda influencia del crecimiento de población, de urbanización con altas concentraciones de población, la expansión industrial, la explotación de recursos y los crecientes avances tecnológicos, y en reconocimiento, además, de la importancia crítica de restaurar y mantener la calidad ambiental para el bienestar general y el desarrollo humano, declara que es política permanente del gobierno federal, en cooperación con los gobiernos estatales y locales, y otros grupos y organizaciones privadas implicados, el utilizar todos los medios y medidas viables, incluyendo ayuda financiera y asistencia técnica de manera planeada, para fomentar y promover el bienestar general, para crear y mantener condiciones bajo las cuales el hombre y la naturaleza puedan existir en armonía productiva y cumplir con los requerimientos sociales, económicos y de otro tipo, de generaciones de estadounidenses presentes y futuras.

En 1987, la Comisión mundial de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y desarrollo publicó *Nuestro futuro común*. Este libro también se conoce como el reporte de la **Comisión Brundtland**, en honor de Gro Brundtland, ex primera ministra de Noruega, quien presidió la comisión. Este prominente reporte no sólo adoptó el concepto de desarrollo sustentable sino que brindó el estímulo para la Conferencia de las Naciones Unidas para el medio ambiente y el desarrollo en 1992, conocida como la Cumbre de la Tierra. El reporte de la Comisión Brundtland definió **desarrollo sustentable** como “desarrollo que satisface las necesidades presentes sin comprometer la habilidad de satisfacer necesidades a futuro”.

En 1992 la Cumbre de la Tierra, que se llevó a cabo en Río de Janeiro, Brasil, fue la primera conferencia global que abordó específicamente el medio ambiente. Además, por vez primera asoció los problemas del medio ambiente con los problemas económicos. Uno de los resultados de la cumbre de Río para el siglo xxi que no comprometía a las partes fue la *Agenda 21*, la cual establecía objetivos y recomendaciones relacionadas con los problemas ambientales, económicos y sociales. Más aún, se creó la Comisión de las Naciones Unidas para el desarrollo sustentable, cuya misión es verificar la implementación de la *Agenda 21*. El documento completo está disponible en el sitio web de la UNEP (www.unep.org).

En la Cumbre mundial para el desarrollo sustentable de 2002 en Johannesburgo, Sudáfrica, los líderes del mundo reafirmaron los principios sobre el desarrollo sustentable adoptados diez años atrás en la Cumbre de la Tierra. También adoptaron los **Objetivos de Desarrollo del Milenio** (MDG) que se enumeran en la tabla 1.2. Los MDG constituyen una ambiciosa agenda que tiene el fin de reducir la pobreza y mejorarla calidad de vida con base en lo que los líderes del mundo acordaron en la Cumbre del Milenio, en septiembre de 2000. Para cada objetivo se han establecido una o más metas, que se habrán de alcanzar principalmente hacia el



Discusión en clase

¿Qué relación se puede observar entre este argumento legal y la definición de desarrollo sustentable que propone la Comisión Brundtland?

Investigue cómo se aplica la doctrina de la custodia de los bienes comunes al acceso que tiene el público a las aguas navegables y a las playas en algún estado estadounidense. ¿Cuál es el acceso que la ley garantiza a los pescadores, navegantes y usuarios de las playas?



Objetivos de Desarrollo del Milenio

Objetivos de Desarrollo del Milenio

Puede visitar www.un.org para saber más acerca de los progresos que se han alcanzado en pos de la consecución de los MDG.

Tabla / 1.2

Objetivos de Desarrollo del Milenio (MDG) Los MDG constituyen una ambiciosa agenda asumida por la comunidad mundial para reducir la pobreza y mejorar la calidad de vida de las comunidades del mundo. Para saber más visite www.un.org/millenniumgoals/.

Objetivo de Desarrollo del Milenio	Antecedentes	Ejemplos de las metas (de un total de 21 metas)
1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre.	Más de mil millones de personas aún viven con menos de un dólar diario.	1a) La mitad de la proporción de la gente que vive con menos de un dólar al día y aquella que sufre de hambrunas.
2. Educación primaria universal.	La cifra de los niños que no van a la escuela asciende a 113 millones.	2a) Asegurarse de que todos los niños y las niñas completen la escuela primaria para 2015.
3. Igualdad entre los géneros y dar poder a las mujeres.	Dos terceras partes de los analfabetos son mujeres y la tasa de empleo entre las mujeres es dos terceras partes que la de los hombres.	3a) Eliminar las disparidades entre sexos en la educación en todos los niveles para 2015.
4. Reducir la mortandad infantil.	Cada año, cerca de 11 millones de niños pequeños mueren antes de su cumpleaños número 5, principalmente a causa de enfermedades que se pueden prevenir.	4a) Reducir en dos tercios la tasa de mortalidad en los niños menores de cinco años.
5. Mejorar la salud materna.	En el mundo en vías de desarrollo, el riesgo de muerte por parto es una en 48.	5a) Reducir en tres cuartas partes la proporción de las mujeres que mueren durante el parto.
6. Combatir el VIH/sida, la malaria y otras enfermedades.	Cuarenta millones de personas viven con VIH/sida, entre ellas 5 millones se infectaron en 2001.	6a y 6c) Detener la diseminación del VIH/sida y la incidencia de la malaria y otras enfermedades importantes y comenzar a revertirlas.
7. Asegurar la sustentabilidad del medio ambiente.	Más de mil millones de personas no tienen acceso a agua potable segura y más de 2 mil millones de personas no cuentan con medidas de saneamiento.	7a) Integrar los principios del desarrollo sustentable a las políticas y los programas de los países y revertir la pérdida de los recursos ambientales. 7b) Reducir a la mitad la proporción de gente que no tiene acceso a una fuente segura de agua potable. 7c) Lograr una mejoría significativa en la vida de al menos 100 millones de habitantes de los arrabales.
8. Desarrollar una sociedad mundial para el desarrollo.		8a) Reforzar el desarrollo de un sistema financiero y de comercio abierto, predecible, basado en reglas y que no sea discriminatorio. 8b) Atender las necesidades especiales de los países menos desarrollados. 8c) Atender las necesidades especiales de los países sin salida al mar y de las islas que constituyen estados en vías de desarrollo. 8d) Enfrentarse de manera integral a los problemas de deuda de los países en vías de desarrollo mediante medidas nacionales e internaciones que permitan que la deuda sea sostenible a largo plazo. 8e) En conjunto con las compañías farmacéuticas, proveer a los países en vías de desarrollo acceso viable a medicinas esenciales. 8f) En conjunto con el sector privado, hacer disponibles los beneficios de las nuevas tecnologías, especialmente la información y las comunicaciones.

Fuente: www.org/millenniumgoals/.

2015, usando como referencia el año 1990. En la actualidad, es incierto el compromiso respecto a estos nobles objetivos de largo alcance, así como su seguimiento, que incluye capital financiero y humano.

No obstante, los ocho MDG considerados como objetivos políticos presentan la visión de un mundo mejor que puede servir como guía para la práctica de la ingeniería y para sus innovaciones durante varias décadas por venir. Representan compromisos para reducir la pobreza y las hambrunas, y para contrarrestar la deficiencia en materia de salud, la inequidad entre sexos, la falta de acceso al agua potable y la degradación ambiental. Son un buen ejemplo del enlace entre política e ingeniería; la política puede conducir a la innovación en ingeniería y los recientes avances ingenieriles pueden alentar el desarrollo de políticas que contengan estándares avanzados que redefinan la idea de “las mejores tecnologías disponibles”.

1.3 Problemas que afectarán la práctica de la ingeniería en el futuro

Como se señaló en la sección anterior, durante los últimos 40 años se ha incrementado la atención a la sustentabilidad global, amén de un creciente consenso de que el mundo enfrenta serios desafíos en materia de desarrollo económico a largo plazo, prosperidad de las sociedades y protección del medio ambiente. Estos retos se desprenden de actuales enfoques científicos, técnicos y políticos, así como del comportamiento de los individuos, las comunidades, las corporaciones y el gobierno.

En el continuo debate sobre los más importantes desafíos para la sustentabilidad, los problemas clave y las soluciones más interesantes involucran a aquellos sistemas de ingeniería que abordan la calidad del agua y del aire, clima, saneamiento, administración de desechos, salud, energía, producción de alimentos, químicos y materiales, así como la construcción del medio ambiente. Estos problemas constituyen retos locales y globales que de manera única afectan a las comunidades de todo el mundo, las cuales están íntimamente relacionadas por su población y datos demográficos. Su solución requerirá un enfoque integral que combine tecnología, gobernabilidad y economía. Con la comprensión de estos problemas mayores, el diseño de la ingeniería actual puede participar de manera más efectiva en el avance en pos de la sustentabilidad local, regional y global. Esta sección brinda un panorama de algunos desafíos que los ingenieros encararán en este siglo.

1.3.1 POBLACIÓN Y URBANIZACIÓN

Se espera que la población mundial actual, de más de 6 mil millones, alcanzará los 9 mil o los diez mil millones durante este siglo (figura 1.2). Por mucho tiempo, el impacto del **crecimiento poblacional** se ha considerado como uno de los más grandes desafíos para la coexistencia tanto de las metas ambientales, económicas y sociales como para la creación de un futuro sustentable. También tiene un gran impacto en la forma en que se administran los recursos naturales y se diseñan e invierten en la ingeniería de infraestructura. La mayor parte del crecimiento poblacional ocurre en el mundo en vías de desarrollo, especialmente en las áreas urbanas, en tanto que se mantiene estancado, y en algunos casos en declive, en gran parte del mundo industrializado.

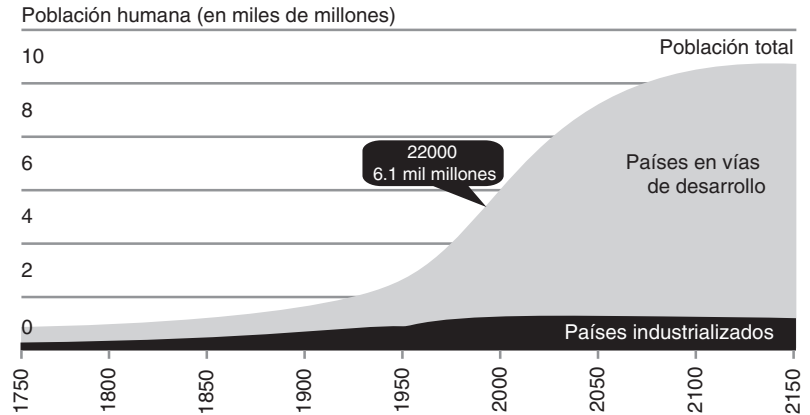
Este patrón de crecimiento poblacional sugiere —entre las complejidades de las poblaciones en crecimiento que incluyen las tasas de natalidad y mor-



Población

Figura 1.2 Población mundial (1750-2000) e incrementos proyectados para el 2150 Se atribuye el crecimiento de la población a los países industrializados o en vías de desarrollo. Por primera vez en la historia, la población urbana excede la población rural y se espera que la mayor parte del crecimiento poblacional del próximo siglo se sume a las urbes.

Naciones Unidas, 2006.



Recuadro / 1.4 Definición de países industrializados y países en vías de desarrollo

Si bien no hay una definición única de **país industrializado**, el concepto generalmente aceptado abarca a los países que han alcanzado un alto nivel relativo de logros económicos mediante una producción avanzada, un incremento en el ingreso y en el **consumo** per cápita, así como la utilización continua de los recursos naturales y humanos. Se consideran países industrializados Japón, Canadá, Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda y la mayoría de los países del norte y el oeste de Europa.

Un **país en vías de desarrollo** es aquel que no ha alcanzado un estado de desarrollo económico que se caracterice por el crecimiento de la industrialización. En los países en vías de desarrollo, el ingreso nacional es menor que la cantidad de dinero necesario para la infraestructura básica y los servicios, lo que conduce a un bajo nivel de vida relativo, una industria base subdesarrollada y un ingreso per cápita por debajo de los parámetros.

talidad, presiones sociopolíticas, acceso a los cuidados de salud y educación, equidad de los sexos y normas culturales— una correlación empírica entre la tasa de crecimiento poblacional y los niveles de desarrollo económico, que en muchas ocasiones equivale con la calidad de vida. Esta relación significaría que es posible cumplir con los desafíos de estabilizar el crecimiento poblacional y el avance en el objetivo de la sustentabilidad mediante el mejoramiento de la calidad de vida y la expansión del desarrollo equitativo y por tanto sustentable. Sin embargo, desde el punto de vista histórico, los incrementos en el desarrollo y en la calidad de vida han estado intrínsecamente ligados al consumo y asociados con el agotamiento de los recursos y la degradación ambiental. Una cantidad significativa de pruebas señala que un incremento en la población humana provoca un mayor laceramiento de los recursos naturales, al mismo ritmo en que la sociedad desarrolla su infraestructura. La comunidad de ingenieros tiene la oportunidad de continuar el desarrollo y el fomento de la calidad de vida a través de la protección y restauración de los ecosistemas, además de diseñar, desarrollar, implementar y mantener una infraestructura que no tenga consecuencias de degradación ambiental, consumo de recursos ni los efectos adversos e injustos en la sociedad, que se han venido dando en la historia.

Uno de los problemas ambientales enumerados en la tabla 1.1 es el crecimiento de las megaciudades, proceso llamado **urbanización**. Por vez primera en la historia de la humanidad, la población urbana excede a la rural. De hecho, se espera que para el 2030, 61% de la población mundial viva en

Tabla / 1.3

Distribución de la población mundial que no cuenta con suministro de agua segura ni saneamiento

Región*	% de la población que carece de suministro de agua segura	% de la población que carece de saneamiento seguro	2000 población (en millones)
Asia	19	52	3,683
África	38	40	784
Latinoamérica y el Caribe	15	22	519
Oceanía	12	7	30
Europa	4	8	729

* La cobertura en Estados Unidos y Canadá se aproxima a 100 por ciento.

FUENTE: Datos de la OMS y del UNICEF, 2000.

áreas urbanas. Es bien sabido que la urbanización es una de las fuentes de los problemas de salud. Por ejemplo, de 30 a 60 por ciento de la población urbana del mundo en vías de desarrollo carece de servicios de saneamiento y sistemas de drenaje y tuberías para agua potable.

1.3.2 SALUD

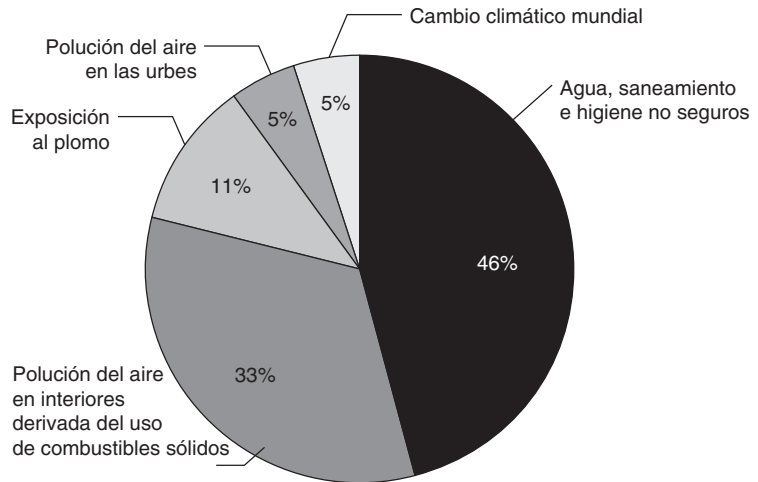
La **Organización Mundial de la Salud (WHO)** (visite www.who.org) estima que la deficiente calidad ambiental contribuye en 25% con las enfermedades que se pueden prevenir en el mundo. Además, la OMS reporta que 900 millones de personas no tienen acceso a un **suministro de agua segura** como conexión desde la casa, tomas de agua públicas, pozos, aljibes, manantiales protegidos o recolección de agua de lluvia (tabla 1.3). (El agua embotellada no está considerada como un suministro de agua segura.) El acceso a un saneamiento adecuado es incluso peor: 2.5 mil millones de personas no tienen acceso a ningún tipo de equipo de saneamiento. Una de las consecuencias es el impacto ecológico devastador en las aguas superficiales que reciben el agua doméstica procesada en hogares y negocios, porque más de 90% de las aguas de desecho no se trata en los países en vías de desarrollo y 33% en los países industrializados (OMS, 1999). Lo anterior ha conducido a horribles consecuencias en las comunidades cuyo abastecimiento de agua se encuentra río abajo y para las comunidades que dependen de los ecosistemas acuáticos que son su forma de sustento económico.

El contacto con el agua, el aire y los desechos sólidos constituyen muchos de los vectores de transmisión de enfermedades, por ello los problemas de salud son críticos para la profesión de la ingeniería ambiental. Tal y como lo señala la OMS, la salud se encuentra estrechamente relacionada con el desarrollo sustentable:

La salud es tanto un recurso como el resultado del desarrollo sustentable. No se podrán alcanzar los objetivos de un desarrollo sustentable cuando prevalecen enfermedades debilitantes y pobreza, y no se puede conservar la salud de la población sin un sistema de salud responsable y un medio ambiente saludable. La degradación ambiental, la mala adminis-

Figura 1.3 Riesgo ambiental y pérdidas económicas causadas por los días de incapacidad

Datos de Ezzati et al, 2004.



tracción de los recursos naturales, los estilos de vida y los patrones de consumo inseguros impactan la salud. Una salud que se enferma obstaculiza el alivio de la pobreza y el desarrollo económico (OMS, 2005).

El VIH/sida, la tuberculosis y la malaria se encuentran entre los más grandes asesinos mundiales. Por separado representan uno de los mayores impactos en las naciones en vías de desarrollo, pero su manera de interactuar hacen que su efecto combinado sea aún mucho peor y que sea una carga económica enorme para las familias y las comunidades, especialmente en aquellas cuyo sustento económico depende de una buena salud (UNESA, 2004). La figura 1.3 muestra los tipos de **riesgo ambiental** que conducen a grandes pérdidas económicas a causa de los días de incapacidad en la vida de una persona. Gran parte de la carga es el riesgo que asume la gente que vive en el mundo en vías de desarrollo. Observe que casi la mitad del riesgo está vinculado a las fallas en el acceso al agua y saneamiento, y gran parte de la otra mitad se debe a la exposición a la contaminación del aire en interiores o en el exterior.

La OMS (2004) explica que los problemas de salud se convierten en problemas económicos:

Para la gente que vive en la pobreza, las enfermedades y las incapacidades para laborar se traducen directamente en una pérdida del ingreso económico. Esto puede ser devastador para los individuos y sus familias cuyo ingreso económico depende de su salud.

Los efectos de una salud deficiente tienen ramificaciones significativas también a escala macroeconómica. Por ejemplo, se atribuye una fracción importante del déficit económico de África a las problemáticas del clima y de las enfermedades.

La degradación ambiental puede tener un efecto aún más directo en los ingresos económicos de un hogar. Los ingresos que se derivan de los ecosistemas, es decir, los **ingresos ambientales** representan “un peldaño en la adquisición de poder económico para la gente pobre del medio rural” (WRI, 2005). Este “capital natural” que el medio ambiente provee constituye los valores bursátiles que dan rendimientos en el flujo de los recursos naturales.

Dichos recursos pueden ser renovables (por ejemplo, los peces o los árboles) o no renovables (como el petróleo). El capital natural no renovable puede agotarse, en tanto que al capital natural renovable se le puede permitir regenerarse por sí mismo, o bien, se le puede cultivar con capital humano como estanques de peces, manadas de ganado y plantaciones forestales.

1.3.3 ESCASEZ DE AGUA, CONFLICTO Y RESOLUCIÓN

La escasez de agua es una situación en la cual no hay agua suficiente para satisfacer los requerimientos humanos normales. Quizá la definición que mejor visualiza el *acceso razonable* a una fuente de suministro de agua para los requerimientos humanos normales sea la de la Organización Mundial de la Salud: la disponibilidad de al menos 20 litros per cápita por día de una fuente que se encuentre a 1 km de la residencia del usuario. La figura 1.4 describe algo que ocurre diariamente en el mundo en vías de desarrollo: niños pequeños que recolectan agua de una fuente localizada lejos de su hogar.

Se considera que un país atraviesa por **insuficiencia de agua** cuando su suministro anual de agua desciende por debajo de los 1 700 m³ por persona. Cuando el abastecimiento anual de agua desciende por debajo de los 1 000 m³ por persona, se considera que el país sufre de **escasez de agua**. Según esta medida, casi dos mil millones de personas padecen actualmente de una grave escasez de agua. Más aún, se espera que mil millones de personas enfrentarán escasez de agua en el año 2025, 20% de la cual estará asociada con efectos directos de cambio en el clima. (Vörösmarty et al. 2000).

La figura 1.5 muestra los países que en la actualidad padecen insuficiencia o escasez de agua. Para el año 2025, más países enfrentarán escasez de agua (Figura 1.5). En los mapas se miden los índices de la deficiencia de agua como la proporción de la disminución del agua respecto del total de los recursos renovables. Es una proporción crítica que implica que la escasez de agua depende de la variabilidad de recursos. La escasez de agua causa un

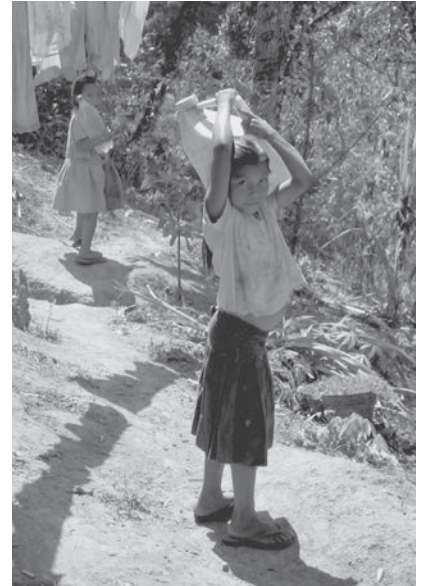


Figura 1.4 Actividad diaria de recolección de agua que se ve en gran parte del mundo

(Foto cortesía de James R. Mihelcic)

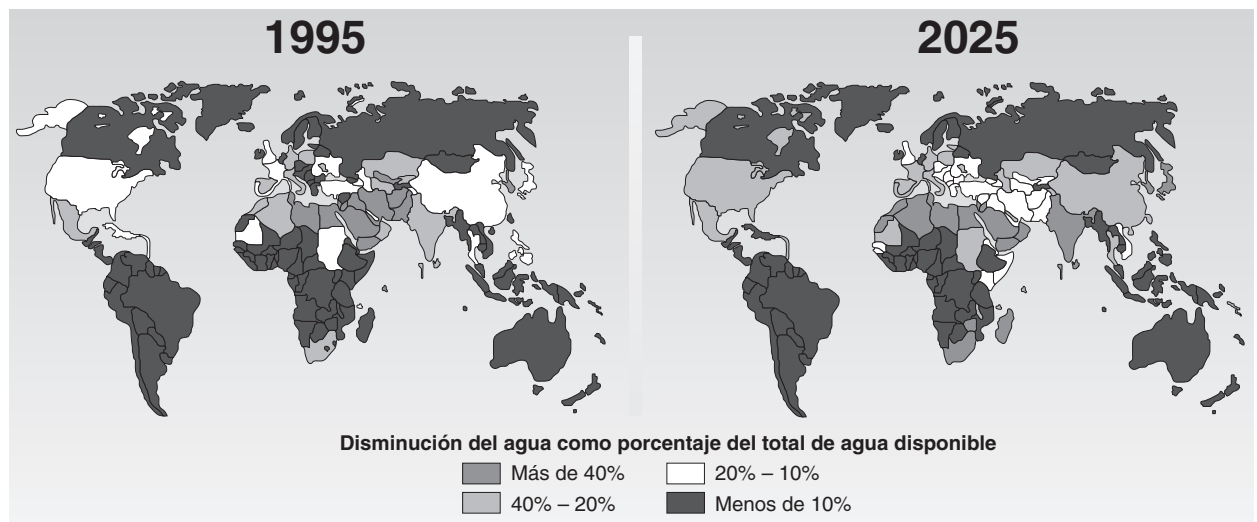


Figura 1.5 Países que enfrentarán insuficiencia o escasez de agua, 1995 y 2020 (proyección)

Datos de la Organización Meteorológica Mundial, figura adaptada del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2007.

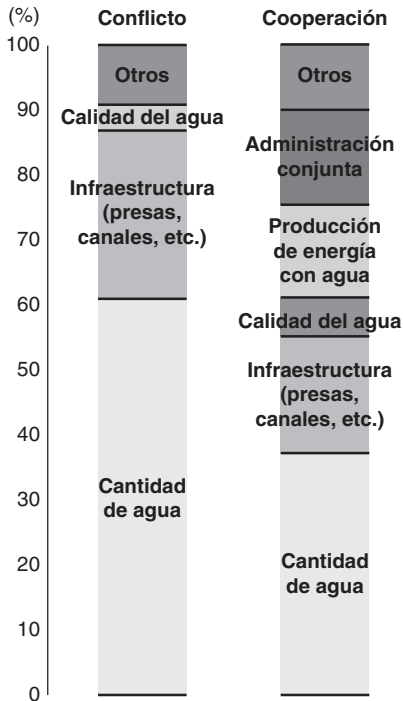


Figura 1.6 En materia de agua, ¿cooperación o conflicto? Se muestran los porcentajes de eventos que hubo por causa de un conflicto de agua, o bien que condujeron a una cooperación en materia de agua (Rediseñado con autorización de UNEP/GRID-Arendal, ¿Cooperación o conflicto en materia de agua?, UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library, <http://maps.grida.no/go/graphic/water-cooperation-or-conflict>).

deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (sobreexplotación de los mantos freáticos, que se sequen los ríos, etc.) y de calidad (polución con materia orgánica, eutrofización, intrusión de agua de mar, etc.).

Se espera que en el futuro el agua sea una fuente de tensión y de cooperación. Lo anterior debido a que dos o más países comparten más de 215 de los ríos más importantes y 300 mantos freáticos acuíferos. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) está constituida por 30 países miembros. El Comité para la Asistencia al Desarrollo de la OCDE escribe que *“las tensiones relacionadas con el agua pueden surgir a escalas geográficas varias. La comunidad internacional puede ayudar con los factores que determinan si estas tensiones conducirán a un conflicto violento. El agua también puede ser el foco de medidas que mejoren la confianza y la cooperación”*.

El siguiente sitio web registra una crónica de los conflictos relacionados con el agua desde 3000 a.C. (<http://www.worldwater.org/conflictchronology.pdf>). La historia muestra que la mayoría de los conflictos relacionados con el agua se resuelven de manera pacífica. De hecho, se han registrado 507 conflictos cuyo centro es el agua y 1 228 casos en que ha habido cooperación en materia de agua. Sin embargo, hay menos de 40 reportes de violencia en torno al agua. Esto muestra que el conflicto del agua quizá no es tan sensacionalista como lo han popularizado películas como *Chinatown* y libros como *Cadillac Desert*. La figura 1.6 muestra los acontecimientos específicos en los cuales el agua ha sido el móvil de conflicto o de cooperación. Como se aprecia en esta figura, la mayoría de los acontecimientos asociados con conflictos o actos de cooperación en torno al agua tienen relación con cambios en la cantidad del flujo del agua y en el diseño y construcción de infraestructura como presas y canales.

Un reto más es hallar soluciones económicamente sustentables para los problemas de infraestructura para el agua. Se estima que la diferencia de base entre los actuales niveles de inversión en agua y la infraestructura para su deshecho, y los niveles que se necesitan, es equivalente y cuesta cientos de miles de millones de dólares. UN-Habitat calcula que el costo de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, Meta 11, que consiste en mejorar la vida de al menos 100 millones de personas que viven en los arrabales, asciende a \$67 mil millones de dólares. Sin embargo, otros 400 millones de personas llegarán a los arrabales para el 2020. Esta gente requerirá unos \$300 mil millones dólares adicionales si quieren tener acceso a los servicios básicos y a una vivienda digna. Uno de estos servicios básicos es el saneamiento, así como proveer una fuente de agua segura.



Discusión en clase

Investigue un **conflicto** en **materia de agua** específico que se haya suscitado en su región o en el mundo y discútalos.

¿Qué tan limpia es la energía que utiliza?

<http://www.epa.gov/cleanenergy>

1.3.4 ENERGÍA Y CLIMA

El **consumo de energía** en Estados Unidos se ha incrementado en todos los sectores y se proyecta que se incremente en el futuro (figura 1.7a). Los ingenieros son los que diseñan, construyen y administran gran parte del consumo de dicha energía (por ejemplo, transporte y edificios residenciales y comerciales). La figura 1.7b desglosa los combustibles que proveen electricidad en Estados Unidos, incluyendo ese pequeño porcentaje de energía que provee una actual, o futura, fuente estadounidense de energía renovable.

La figura 1.8 ilustra el consumo de energía per cápita en Norteamérica, incluyendo Estados Unidos, Canadá y México) comparado con el resto del mundo desde 1980. En 2003, el consumo de energía per cápita fue aproximadamente cuatro veces mayor que el del resto del mundo. Esto demuestra

a) Consumo de energía por sector, 1980-2030
(1024 BTU; 1 watt equivale aproximadamente a 3.4121 BTU)

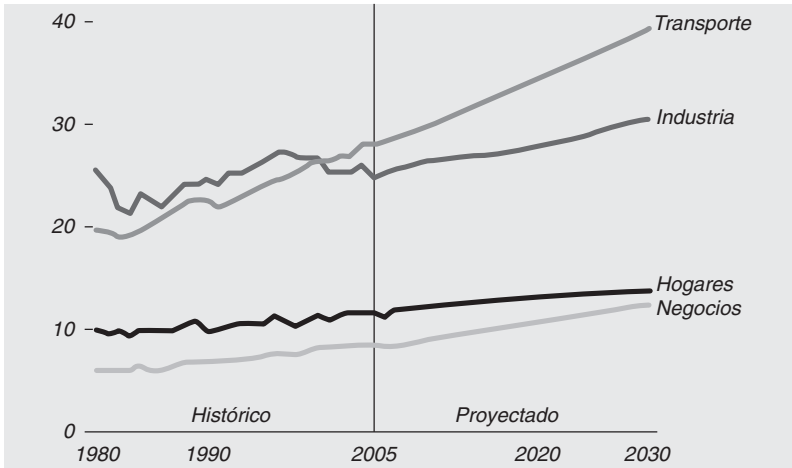


Figura 1.7 Consumo de energía y generación de electricidad en Estados Unidos, 1980-2003

De DOE, 2006.

b) Electricidad generada por combustibles, 1980-2030 (mil millones de kilowatt-hora)

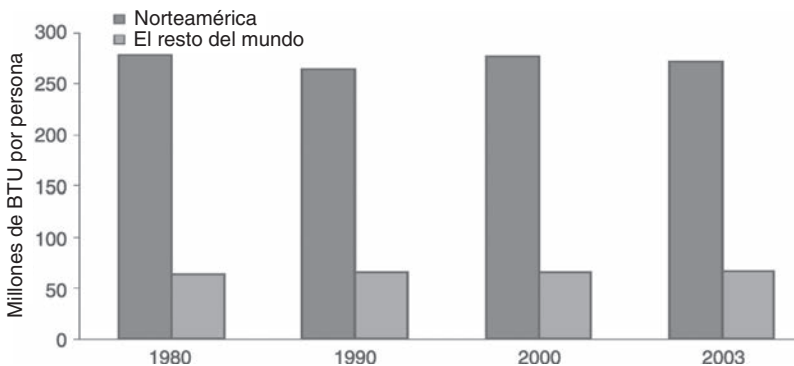
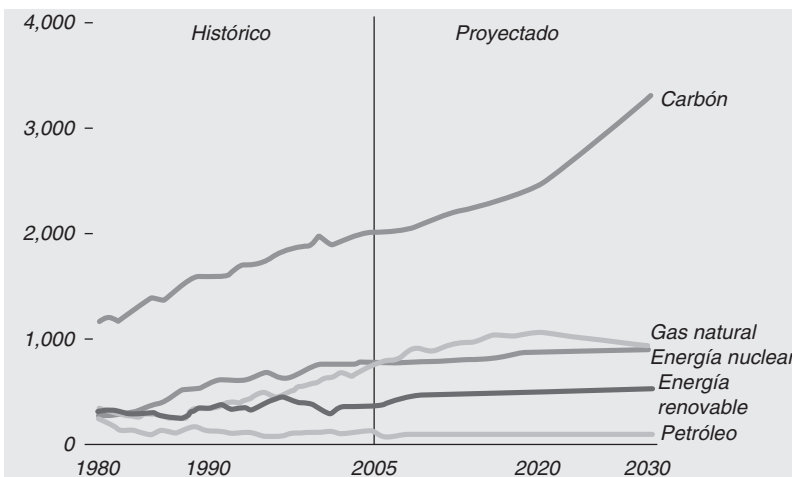


Figura 1.8 Consumo anual de energía per cápita en Norteamérica y el resto del mundo. El consumo de energía de Norteamérica ha sido aproximadamente cuatro veces mayor que el del resto del mundo durante este periodo de 23 años.

que los ingenieros deberían estar preocupados por las fuentes de energía y su uso en cada decisión que toman, especialmente en Estados Unidos.

El consumo de energía es una razón por la cual las emisiones de **gases de efecto invernadero** causan cambios en el **clima** del mundo. La mayoría de estas emisiones están vinculadas con la quema de combustibles fósiles para producir energía, y en menor proporción con el uso de la tierra. El **Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC)** (co ganadores del Premio Nobel de la Paz 2007) fue establecido por la Organización Meteorológica Mundial y la UNEP para evaluar información científica, técnica y socioeconómica relacionada con una mejor comprensión del cambio climático (para más información, visite <http://www.ipcc.ch/>). Los más de 2 000 reconocidos científicos que integran el IPCC predicen para el próximo siglo un posible incremento en la temperatura que irá de los 2.4° C a los 6.4° C.

Las consecuencias mundiales del calentamiento serán significativas. La figura 1.9 muestra cuáles son los impactos que se esperan en los ecosistemas, el agua, la comida, las zonas costeras y la salud, tal y como se relacionan con el incremento específico en la temperatura media mundial. No son sólo los ecosistemas y la vida silvestre los que dependen profundamente del clima, sino también la salud humana y la economía.

El impacto del cambio climático variará según el lugar. Por ejemplo, se verán sumamente afectadas las islas que constituyen pequeñas naciones, algunas partes del mundo en vías de desarrollo y regiones geográficas particulares de Estados Unidos. Algunas industrias resultarán más afectadas que otras. Los sectores económicos que dependen de la agricultura tendrán dificultades debido a la creciente variabilidad en los patrones del clima, y las aseguradoras lucharán para responder a un mayor número de eventualidades catastróficas relacionadas con el mal tiempo.



Cambio climático mundial

Recuadro / 1.5 Clima y salud

El cambio climático también tiene una relación con la salud humana. Se ha documentado la relación entre incrementos de temperatura y morbilidad y mortalidad. Los vectores de transmisión comunes en enfermedades como la malaria y el dengue son sensibles a la temperatura. El impacto que causan en la salud y la infraestructura eventualidades

extremas como inundaciones y huracanes, aunadas al cambio climático, es enorme. También podría aumentar la polución del aire en interiores causada por esporas y moho. Para más información, visite el sitio web de la Organización Mundial de la Salud en www.who.int/en.

En Estados Unidos existe un amplio espectro de condiciones climáticas con las que los ingenieros han trabajado por siglos. Por ejemplo, es bien sabido que el suroeste es seco y que el noreste es más húmedo. Estas variaciones en el clima han tenido influencia en las decisiones de los ingenieros en términos de suministro y uso del agua, lo que resulta en una infraestructura fija y manejable que estuvo basada en las mejores prácticas de su tiempo, pero que ahora lucha por cumplir con las demandas actuales. Los 54 000 sistemas de agua potable de ese país requieren de inversión pública durante los próximos 20 años. Aunque Estados Unidos gasta miles de millones de dólares anuales en infraestructura, a fin de cumplir con las actuales regulaciones federales en materia de agua y con las futuras, el agua potable enfrenta un déficit de al menos \$11 mil millones de dólares para reemplazar las viejas instalaciones que están por volverse obsoletas.

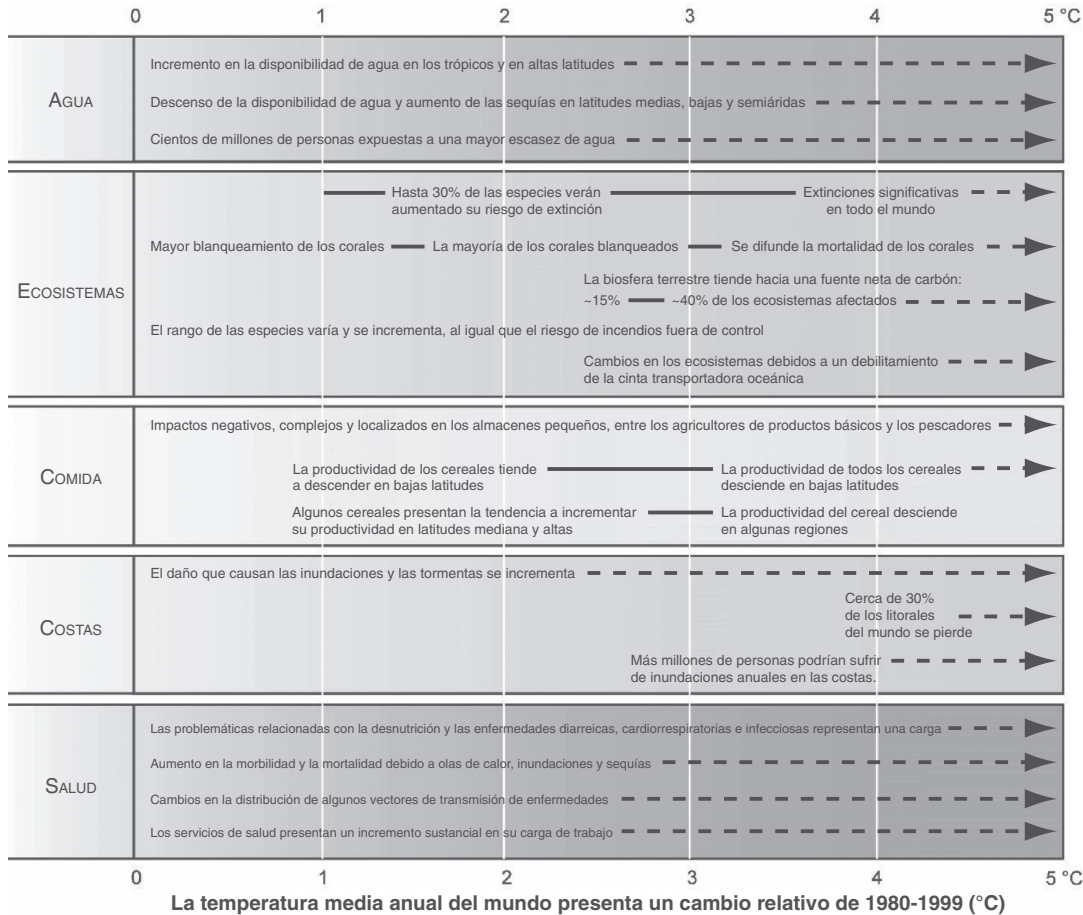


Figura 1.9
Pronóstico de los cambios derivados del cambio climático
 Los efectos y el alcance de su impacto dependerán de la magnitud de los incrementos de la temperatura.
 Con autorización del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, Cambio Climático 2007: Impactos, adaptación y vulnerabilidad, Sumario de los diseñadores de políticas, Tabla SPM.2, 2007.

Este déficit no toma en cuenta cualquier aumento en la demanda del agua potable para los próximos 20 años (ASCE, 2005).

A medida que cambian el clima, la población y la demografía en el futuro, los ingenieros no sólo deben incorporar los avances tecnológicos para reducir el uso de energía y de agua, sino que también tienen que echar mano de las fuentes renovables de energía y materiales. Para diseñar la infraestructura, los ingenieros deben anticipar el crecimiento futuro, el comportamiento de la sociedad y otros factores que afectan la demanda durante la vida útil de los proyectos.

Lea el Informe sobre la salud en el mundo

<http://www.who.int/whr/en/index.html>

Recuadro / 1.6 La solución de 2 por ciento

Algunos científicos afirman que se pueden disminuir los impactos más peligrosos del calentamiento global si se reducen las emisiones totales en 80% para el año 2050. Puede parecer mucho, pero tan sólo requeriría que todos redujeran sus emisiones de bióxido de carbono en 2%

anual a partir de ahora y hasta el 2050. Si busca en Internet palabras clave como *dos por ciento* y *cambio climático*, encontrará información sobre cómo implementar reducciones voluntarias y ser parte de la solución del 2 por ciento.

1.3.5 QUÍMICOS TÓXICOS Y RECURSOS FINITOS

El uso, generación y desecho de los **químicos tóxicos** en el medio ambiente sigue siendo un problema mundial. Tan solo en Estados Unidos en el 2004, la industria emitió más de 4 mil millones de libras de químicos tóxicos al aire, a la tierra y al agua, se sabe que 72 millones de dichas libras incluían cancerígenos, según el Inventario de Emisión de Tóxicos de la EPA. Otros serios problemas mundiales son los **contaminantes orgánicos persistentes** (POP) y otros químicos tóxicos, entre ellos los **disruptores endocrinos**. A medida que estos químicos circulan a través de los sistemas de la naturaleza y del ser humano, constituyen un riesgo significativo a las funciones de los ecosistemas y la salud humana, ya que el ser humano se ve expuesto a estos químicos al respirar, beber agua y comer. Se trata de algo especialmente importante en fracciones susceptibles de la población como los niños, las mujeres embarazadas y la gente de edad avanzada.

Los ingenieros juegan un papel significativo en la reducción de los riesgos asociados con el uso y generación de estos químicos. Idealmente, pueden contribuir si el diseño de sus productos, procesos y sistemas no incluyen estos químicos en su producción, reparación, operación y mantenimiento. Otra importante y posible aportación de los ingenieros es la de comprender el destino y el transporte de estos químicos, de manera que se pueda eliminar o minimizar el daño que causan a los sistemas de la naturaleza y la exposición al ser humano.

En cuanto a los materiales, otra preocupación más allá de su toxicidad es la actual dependencia del ser humano en los **recursos no renovables**, la cual muy probablemente crecerá a medida que crece la población. Un **recurso renovable** es cualquier recurso natural que se consume a una tasa menor de la que se regenera, o bien, que es difícil de agotar en un futuro razonable. A fin de que la actual población del planeta pueda vivir con la misma calidad de vida de Estados Unidos, se requerirían los recursos de cuatro planetas Tierra. (Rees, 2006).

Los ingenieros pueden contribuir de varias maneras a cumplir con este desafío. Primero, al incorporar los recursos renovables a los diseños y especificaciones. Segundo, al diseñar productos, procesos y sistemas para materiales de alta eficiencia, lo que reduce la cantidad de material que ha de adquirirse, manufacturarse y finalmente desecharse. Hay también oportunidades significativas de mejorar la actual eficiencia de los materiales. En ciertos análisis recientes se ha encontrado que 94% de las materias primas que se utilizan en procesos de manufactura terminan como deshecho. Además, 99% de los materiales originales que contienen los productos estadounidenses, o que se han utilizado en su producción, se convierte en deshecho a las seis semanas de la venta (Lovins, 1997). La mayoría de estos materiales de deshecho provienen de fuentes no renovables, particularmente del petróleo, lo que se suma a los efectos en la salud y el medio ambiente del ser humano.

1.3.6 FLUJO DE MATERIALES Y LA CONSTRUCCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Se lleva a cabo una **construcción del medio ambiente** para tener donde vivir, trabajar, comerciar, estudiar y jugar. Se refiere a todo lo construido: edificios, caminos, puentes y puertos. Mientras que sólo de 2 a 3 por ciento del área terrestre de Estados Unidos está construida, aproximadamente 60% de esta área terrestre se ve ahora afectada por la construcción del medio ambiente (UNEP, 2002).

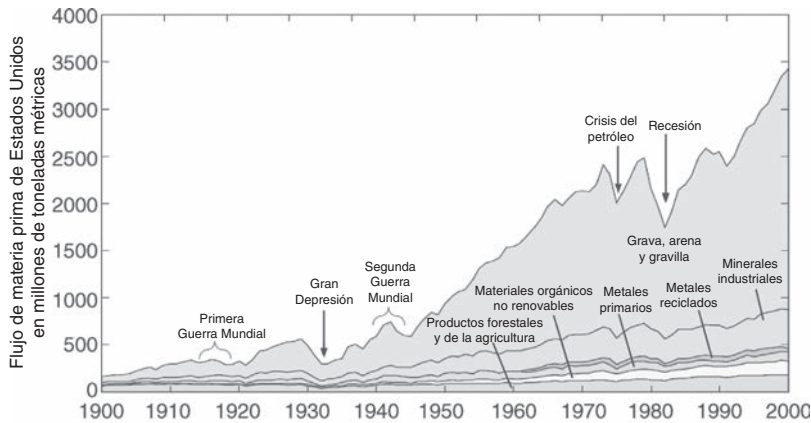


Figura 1.10 Flujo de materia prima en Estados Unidos por peso, 1900-1998 El uso de materia prima ha tenido un vasto incremento en el siglo xx y gran parte de ella se usa en la profesión de la ingeniería a manera de conglomerados, cemento (que está incluido en los minerales industriales) y como refuerzos de acero (que se encuentran en los metales primarios)

Según U.S. Geological Survey, Wagner, 2002.

La construcción del medio ambiente también requiere una cantidad tremenda de agua, energía y recursos naturales para su edificación y operación. Un análisis del **flujo de materiales** en Estados Unidos (figura 1.10) muestra que aproximadamente 85% del flujo de materiales en ese país por peso, está asociado a elementos como conglomerados, cemento, refuerzos de acero y madera; materiales que se incorporan a la infraestructura ingenieril. (Observe que no se incluye el agua en este análisis, pero si se hiciera, sería el único material con el mayor flujo.)

Se usan los conglomerados en cementos y en la producción de hormigón, el cual se hace de cemento, arena, grava y agua. Los materiales industriales también comprenden el cemento Portland y los muros de tablaroca que se usan en la construcción residencial y comercial. **La energía gris**—la cantidad de energía que se requiere en todas las etapas del ciclo de vida desde la adquisición de la materia prima, manufactura, uso y fin de vida útil— del hormigón tiene un impacto significativo en los actuales flujos de energía estadounidense (tabla 1.4). La transportación de los conglomerados y del hormigón hasta los lugares de construcción asciende a más de 10% del total de la energía gris. Además, la producción de 1 kg de cemento Portland resulta en la producción de aproximadamente 1 kg de CO₂. Cuando si se toma en cuenta el fin de la vida útil de los materiales

Tabla / 1.4

Energía gris asociada con los componentes del hormigón

Material	% material por peso	% de energía gris
Cemento	12	94
Arena	34	1.7
Grava	48	5.9
Agua	6	0

FUENTE: Horvarth, 2004, reproducido con autorización del Annual Review of Environment and Resources, volumen 29, © 2004 por Annual Reviews, www.annualreviews.org.

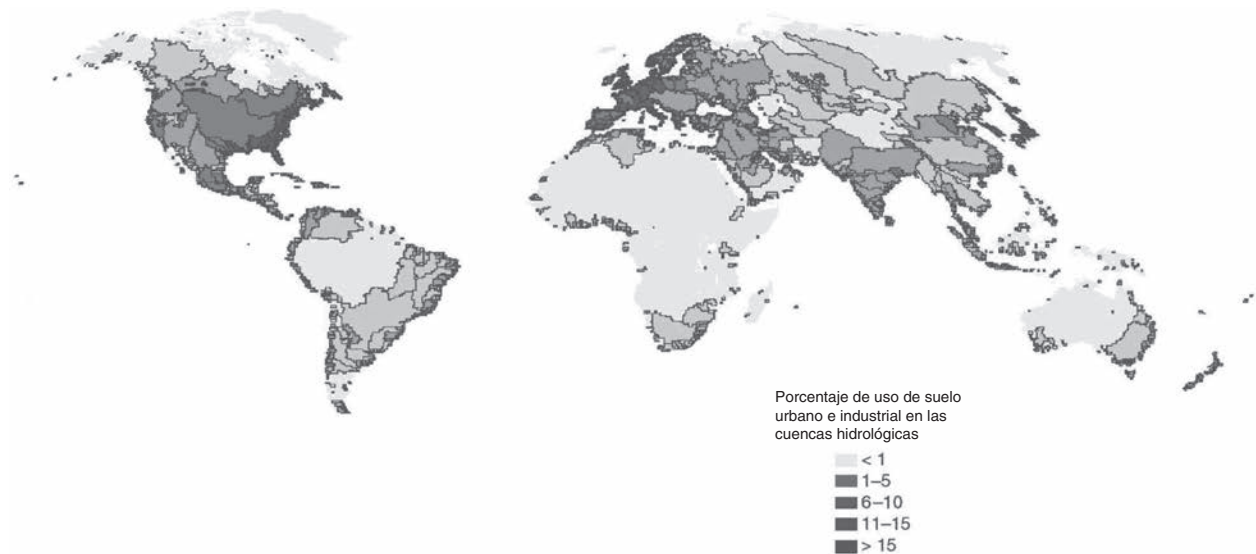


Figura 1.11 Uso de suelo urbano e industrial en las cuencas de los ríos del mundo A lo largo de la costa este de Estados Unidos, Europa occidental y Japón se concentran litorales sumamente urbanizados. En las costas de China, India, Centroamérica, la mayor parte de Estados Unidos, Europa Occidental y el Golfo Pérsico es menor el uso de suelo con fines urbanos e industriales. (Reproducido con autorización del Instituto de Recursos Mundiales, 2000. Análisis piloto de los ecosistemas mundiales: sistemas de agua dulce. Instituto de Recursos Mundiales, Washington, D.C.).

de ingeniería, los escombros producto de demoliciones y los residuos de construcción constituyen de 13 a 19 por ciento de los desechos sólidos, la mitad de los cuales es hormigón (por volumen) y sólo se recicla de 20 a 30 por ciento de este material (Hovarth, 2004).

La construcción del medio ambiente en las áreas urbanas también afecta el calentamiento local, cuyo término más preciso es **isla de calor**, así como la cantidad y calidad de agua que circula a través. La figura 1.11 muestra la intensidad del **uso de suelo** en el mundo. Se localizan muchos litorales sumamente urbanizados a lo largo de la costa este de Estados Unidos, y existe un uso igualmente intenso en Europa occidental y Japón. Hay concentraciones urbanas menos densas en el resto de Estados Unidos y en las zonas costeras de China, India, Centroamérica y el Golfo Pérsico. Estas áreas urbanas se construyeron mediante el cambio y reubicación de ríos, lagos, bosques y pantanos. Lo anterior ha tenido un gran impacto en la infiltración en las propiedades, en las tasas de transpiración y en el consecuente desgaste de estas zonas hidrológicas. Las superficies impermeables (que se abordan en los capítulos 8 al 14) que cubren los caminos incrementan no sólo el volumen, sino también la tasa a la cual se agota el agua. Lo anterior ha disminuido la recarga de los recursos freáticos, así como la calidad de las cuencas que la reciben. La pérdida de las zonas acuíferas en estas áreas ha exacerbado dichos efectos.

La migración de los centros urbanos hacia desarrollos suburbanos de reciente creación también provoca problemas, se trata de un fenómeno conocido como “dispersión urbana descontrolada” o su término en inglés “sprawl”. Para desarrollarse y mantenerse, este tipo de crecimiento requiere energía y materiales significativos, provoca que las travesías diarias al trabajo sean mayores y que con frecuencia se hagan en automóviles persona-

les en lugar de transportes públicos, además, pueden contribuir a la fragmentación de las comunidades, de los terrenos silvestres y del campo. Iniciativas como las de **crecimiento inteligente** o un **nuevo urbanismo** constituyen estrategias para mitigar las crecientes preocupaciones relacionadas con la dispersión urbana. Ambos enfoques hacia el desarrollo urbano se concentran en el diseño de comunidades que preservan las tierras naturales, protegen la calidad del agua y del aire y reusan la tierra ya desarrollada. Al diseñar el uso compartido de los vecindarios (residencial, comercial, oficinas y escuelas), las comunidades crean ambientes en donde los residentes pueden caminar o trasladarse en bicicleta, usar el transporte público y conducir su automóvil, con el objetivo de vivir y trabajar dentro de la misma comunidad. La alta calidad de vida de estas comunidades las hace económicamente competitivas, crea oportunidades de negocio y mejora la base tributaria local (EPA, 2007).

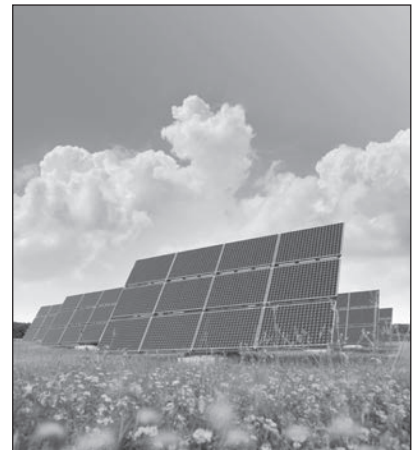
1.4 La revolución sustentable

En el origen de la **revolución sustentable** se encuentran la sociedad y la comunidad de ingenieros; se trata de una de varias revoluciones que se han suscitado en los últimos 10 000 años y que han cambiado la manera en que el ser humano interactúa con los sistemas naturales. Las primeras dos revoluciones fueron la agrícola y la industrial, que tuvieron lugar a lo largo de muchos decenios y siglos. Aunque las presiones en el medio ambiente pueden ser mayores a causa de la población y la tecnología, cada vez se está más cerca del principio de una nueva revolución.

Hace 10 000 años, cuando se originó la revolución agrícola, la población mundial ascendía a 10 millones. Hacia 1750 había crecido a aproximadamente 800 millones. Una sociedad basada en la agricultura no era necesariamente más productiva o eficiente. De hecho, algunos creían que era tan sólo la base para acomodar a una población creciente. Por ejemplo, la revolución agrícola dio como resultado comida de un menor valor nutricional por acre; sin embargo, limitó los desafíos que representaban la vida y los campos silvestres. La revolución agrícola también impulsó conceptos acerca de la propiedad de la tierra como feudalismo, riqueza, estatus, comercio, dinero, poder, gremio, templo, ejército y ciudad (Meadows et al., 2004).

Durante el relativamente corto periodo de la Revolución Industrial, la población mundial se incrementó en más de 6 mil millones. La Revolución Industrial trajo consigo maquinaria, capitalismo, caminos, ferrocarriles, combustión, chimeneas, fábricas y grandes áreas urbanas. Junto con la revolución agrícola, introdujo en el mundo los actuales y los emergentes problemas medioambientales que se enumeran en la tabla 1.2. La Revolución Industrial también aportó al vocabulario palabras que describen muchos desafíos medioambientales modernos y que ahora son de uso común. En la tabla 1.5 se enumeran algunos de esos vocablos. También se refieren los términos que se están haciendo de uso común durante la revolución sustentable.

Los ingenieros pueden contribuir de manera significativa al éxito de la revolución sustentable mediante su potencial para diseñar y administrar el futuro con diseños innovadores y sustentables. Los ingenieros pueden jugar un papel significativo en el logro de un futuro sustentable si piensan más allá de las mejoras incrementales y consideran los saltos tecnológicos, si proveen servicios sin entidades físicas y si diseñan su ingeniería con ese propósito. Como se mencionó antes, Einstein dijo que se necesita un nuevo nivel de conciencia para crear soluciones, en este caso, para diseñar un mejor mañana.



iStockphoto.

Tabla / 1.5

Vocabulario de la Revolución Industrial y de la Revolución Sustentable

Revolución Industrial	Revolución Sustentable
Energía no renovable	Energía renovable
Desperdicio	Eficiencia
Cambio climático	Restauración ecológica
Consumo	Equidad de recursos
Acumulación	Justicia social y medioambiental
Toxicidad, smog, contaminantes orgánicos persistentes, disruptores endocrinos	Química verde
Transportación	Accesibilidad
Canales hidráulicos de hormigón	Desarrollos hídricos de bajo impacto con base en agua de lluvia y de tormenta
Islas de calor como uno de los efectos urbanos	Techos verdes
Bioacumulación	Biodiversidad
Diseño industrial	Diseño verde
Producto interno bruto (PIB)	Índice de bienestar económico sustentable, índice de sustentabilidad medioambiental, indicador de progreso genuino

Términos clave

- capacidad de persistencia
- Carson, Rachel
- clima
- Comisión Brundtland
- conflicto relacionado con el agua
- construcción del medio ambiente
- consumo
- consumo de energía
- contaminantes orgánicos persistentes (POP)
- crecimiento inteligente
- crecimiento poblacional
- desarrollo sustentable
- disruptores endocrinos
- doctrina de la custodia de los bienes comunes
- energía gris
- escasez de agua
- flujo de materiales
- fuente de suministro de agua
- gases de efecto invernadero
- ingeniería sustentable
- ingresos ambientales
- insuficiencia de agua
- isla de calor
- “La tragedia de los bienes comunes”
- *Los límites del crecimiento*
- nuevo urbanismo
- Objetivos de Desarrollo del Milenio (MDG)
- Organización Mundial de la Salud (WHO)
- país en vías de desarrollo
- país industrializado
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC)
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP)
- químicos tóxicos
- recurso no renovable
- recurso renovable
- revolución sustentable
- riesgo ambiental
- sustentabilidad
- línea triple principal
- urbanización
- uso de suelo



capítulo/Uno Problemas

1.1 Identifique tres fuentes que den su definición de sustentabilidad (por ejemplo, el gobierno local, estatal o federal; la industria, una organización medioambiental; un organismo internacional; un grupo financiero o de inversión). Compare y contraste estas tres definiciones con la de la Comisión Brundtland. ¿Cómo reflejan sus fuentes la definición?

1.2 Escriba su propia definición de desarrollo sustentable de manera que pueda aplicarse a su profesión de ingeniero. En dos o tres oraciones explique por qué es apropiada y cuál es su aplicación.

1.3 Imagine que usted ha nacido en un país en vías de desarrollo. La salud y la prosperidad de su comunidad están amenazadas por los cambios climáticos que causan las emisiones antropogénicas de CO₂ que generan principalmente los países industrializados. La situación es extrema, al grado de que la gente de su comunidad no bautiza a sus hijos hasta que hayan pasado los 5 años, en vista de que es posible que mueran antes de esa edad. Si tuviera la oportunidad de hablar con un ingeniero de un país industrializado, ¿qué le diría?

1.4 Investigue el progreso que hayan alcanzado dos países de su elección en pos de los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (MDG). Concentre los resultados en una tabla. Entre otras fuentes, puede consultar el sitio web de las Naciones Unidas www.un.org/millenniumgoals/

1.5 Investigue dos ejemplos de contaminantes orgánicos persistentes (POP, por sus siglas en inglés), y escriba un párrafo corto que describa cada químico, sus usos y aplicaciones más comunes y sus efectos, conocidos y supuestos, en la salud humana y en el medio ambiente. ¿Cuáles son los problemas económicos, sociológicos y medioambientales que se relacionan en estos químicos?

1.6 Dibuje una gráfica que muestre la población mundial en el eje *y* (desde 1960) y, en el eje *x*, una línea del tiempo que identifique las más importantes conferencias mundiales relacionadas con el medio ambiente y la sustentabilidad. Indique cualquier evento mundial importante (por ejemplo, desastre, guerra, hambruna) que haya contribuido a la pérdida de atributos sociales o medioambientales que usted personalmente valore.

1.7 Piense cómo se relaciona “La tragedia de los bienes comunes” con un problema medioambiental local. Sea específico: a qué se refiere con el término “bienes comunes” en este ejemplo en particular, y sea cuidadoso al explicar cómo generaciones presentes y futuras verán deteriorados dichos “bienes comunes”.

1.8 Investigue un problema del medio ambiente mundial en el sitio web www.unep.org. ¿Cuál es el estado actual del recurso ambiental implicado en el problema? ¿Se ofrecen proyecciones futuras? ¿Cuáles?

1.9 En el sitio web de UNEP hay numerosas gráficas que describen problemas medioambientales de escala mundial. Elija una gráfica y relaciónela con uno de los problemas analizados en la sección 1.3. Reproduzca esta gráfica y comente cómo este problema específico afecta a diferentes regiones del mundo (Norteamérica, Centroamérica y el Caribe, Sudamérica, Europa, Asia, Oceanía). ¿De qué manera dificultades como el crecimiento poblacional, urbanización, cambio climático afectarán (negativa o positivamente) este problema a futuro? Presente una solución sustentable que incluya un equilibrio entre lo social, medioambiental y económico.

1.10 Investigue el sitio web de la Organización Mundial de la Salud (www.who.org) y escriba un ensayo de una cuartilla acerca de cómo se relaciona la salud con la sustentabilidad. Dé ejemplos específicos.

1.11 Familiarícese con el sitio web del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (www.ipcc.ch/). Escriba un ensayo de una cuartilla sobre cómo los cambios en el clima pueden afectar a futuro dos aspectos de su profesión como ingeniero.

1.12 Investigue un conflicto relacionado con el agua dentro y fuera de su país. ¿Qué similitudes y diferencias encuentra entre ambos?

1.13 Identifique un litoral cercano que atraviese fronteras estatales o nacionales. ¿Cuáles son los conflictos potenciales relacionados con este litoral compartido? Identifique al menos tres representantes legales implicados.

1.14 Visite el sitio web del Departamento de Energía de Estados Unidos (www.doe.gov) e investigue los consumos de energía del sector doméstico, comercial, industrial y de transporte. Haga una tabla que relacione este consumo específico de energía con el porcentaje de emisiones de CO₂ de Estados Unidos y del mundo. Identifique una solución sustentable para reducir el uso de energía y las emisiones contaminantes de CO₂ para cada sector.

1.15 Visite el sitio web de la EPA (www.epa.gov) e investigue “crecimiento inteligente” o “isla de calor”. Escriba un ensayo de una cuartilla que defina el tema que eligió y que lo relacione de manera fundamental con la práctica de la ingeniería.

1.16 Investigue la definición de sociedad civil en el sitio web de la Naciones Unidas (www.un.org). Analice porqué los miembros de la sociedad civil deberían implicarse activamente en la solución sustentable de un problema común de su comunidad en la que los ingenieros trabajan (por ejemplo, la calidad del agua o del aire, transportación, accesibilidad o uso de suelo).

1.17 Visite el sitio web de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (www.asce.org) e investigue y analice el estado de la infraestructura en Estados Unidos.

1.18 En el sitio web de la Organización Mundial de la Salud (www.who.org) investigue un problema de salud relacionado con el agua, el aire en interiores o el clima. Comente en una cuartilla el problema y formule una solución sustentable que incluya los componentes sociales, medioambientales y económicos.

1.19 En sus propias palabras, exponga en un párrafo cómo se relaciona la salud con la sustentabilidad. ¿Acaso su comentario variará dependiendo si usted vive en el mundo industrializado o en el mundo en vías de desarrollo? ¿Los actuales sistemas de transporte se han diseñado teniendo en cuenta la sustentabilidad?

1.20 Visite el sitio web del Instituto de Recursos Mundiales (www.wri.org) y consulte el reporte *Recursos Mundiales 2005: La riqueza del pobre: Gestionar los problemas para combatir la pobreza*. Seleccione un estudio de caso y demuestre cómo la gente que vive en la pobreza depende del medio ambiente para obtener una gran porción de su sustento económico. Sea específico acerca de la cantidad real de riqueza económica que el medio ambiente provee en este estudio.

Referencias

- American Society of Civil Engineers (ASCE). 2005. "Report Card for America's Infrastructure, 2005", www.asce.org/reportcard/2005/index.cfm, consultado el 1 de abril de 2008.
- Daly, H. E. 1986. *Beyond Growth*. Boston: Beacon Press.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2007. "About Smart Growth". Office of Policy Economics and Innovation, www.epa.gov/livability/about_sg.htm, consultado el 8 de febrero de 2007.
- Ezzati, M., A. Rodgers, A. D. Lopez, et al. 2004. "Mortality and Burden of Disease Attributable to Individual Risk Factors". En *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors*, vol. 2, ed. por M. Ezzati, A. D. Lopez, et al. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Horvath, A. 2004. "Construction Materials and the Environment". *Annual Review of Environment and Resources* 29:181-204.
- Instituto de Recursos Mundiales (WRI). 2000. "Pilot Analysis of Global Ecosystems (PAGE): Freshwater Systems". Washington, D.C.: Instituto de Recursos Mundiales.
- Instituto de Recursos Mundiales (WRI) en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) y el Banco Mundial. 2005. "World Resources 2005: The Wealth of the Poor-Managing Ecosystems to Fight Poverty". Washington, D.C.
- Lovins, A. B., L. H. Lovins y E. U. Weizsacker. 1997. *Factor Four: Doubling Wealth, Halving Resource Use; The New Report to the Club of Rome*. Londres: James & James/Earthscan.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers y W. W. Behrens III. 1972. *The Limits to Growth*. Londres: Earth Island Limited.
- Meadows, D., J. Randers y D. Meadows. 2004. *The Limits to Growth: The 30-Year Update*. White River Junction, Vt.: Chelsea Green Publishing Co.
- Mihelcic, J. R., J. C. Crittenden, M. J. Small, D. R. Shonnard, D. R. Hokanson, Q. Zhang, H. Chen, S. A. Sorby, V. U. James, J. W. Sutherland y J. L. Schnoor. 2003. "Sustainability Science and Engineering: Emergence of a New Metadiscipline". *Environmental Science & Technology* 37(23):5314-5324.
- OMS y UNICEF. 2000. *Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia.
- Organización Mundial de la Salud (WHO). 1999. "The World Health Report 1995: Bridging the Gaps". Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Organización Mundial de la Salud (WHO). 2004. *Global and Regional Burden of Diseases Attributable to Selected Risk Factors*, vols. 1 y 2. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Organización Mundial de la Salud (WHO). 2005. "World Summit on Sustainable Development". Sitio web de WHO, www.who.int/wssd/en/, consultado el 10 de junio de 2005.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). 2007. "Summary for Policy Makers". En *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, ed. por M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden y C. E. Hanson, 7-22. Cambridge: Cambridge University Press.
- Payne, R. 1968. "Among Wild Whales". *New York Zoological Society Newsletter* (noviembre).
- Rees, W. E. 2006. "Ecological Footprints and Bio-Capacity: Essential Elements in Sustainability Assessment". En *Renewables-Based Technology: Sustainability Assessment*, ed. por Jo Dewulf y Herman Van Langenhove, 143-158. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- United Nations. 2006. *World Population Prospects*, revisión de 2006, esa.un.org/unpp/.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNESA). 2004. *World Urbanization Prospects: The 2003 Revision*, UN Sale No. E.04.XIII.6, Nueva York: UNESA Population Division.
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2002. *Global Environmental Outlook 3*. Londres: Earthscan.
- UNEP. 2007. *Global Environmental Outlook 4*. La Valleta, Malta: Progress Press.
- U.S. Department of Energy. 2007. Annual Energy Review. Sitio web de Energy Information Administration, www.eia.doe.gov/emeu/aer/contents.html, consultado el 15 de agosto de 2007.
- Vörösmarty, C. J., P. Green, J. Salisbury y R. B. Lammers. 2000. "Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth". *Science* 289:284-288.
- Wagner, L. A. 2002. "Materials in the Economy: Material Flows, Scarcity and the Economy", U.S. Geological Survey Circular 1221, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- WFEO-ComTech (World Federation of Engineering Organizations y ComTech) Engineers and Sustainable Development, 2002.
- World Commission on Environment and Development. 1987. *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.