



Sustentabilidad

Una visión multidisciplinaria

Editores:
Eduardo Peñalosa Castro
Rodolfo Quintero y Ramírez

Sustentabilidad una visión multidisciplinaria



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

© 2016 Por esta edición, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa
Avenida Vasco de Quiroga 4871
Col. Santa Fe Cuajimalpa, delegación Cuajimalpa de Morelos
C.P. 05348, México D.F. (Tel.: 5814 6500)
www.cua.uam.mx

ISBN: 978-607-28-0806-5

Primera edición: 2016

Corrección de estilo: Eleazar Zavala Ruíz
Diseño editorial y portada: Ricardo López Gómez

Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida mediante ningún sistema o método electrónico o mecánico sin el consentimiento por escrito de los titulares de los derechos.

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

EDITORES:

EDUARDO PEÑALOSA CASTRO Y RODOLFO QUINTERO Y RAMÍREZ

Sustentabilidad una visión multidisciplinaria



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Dr. Salvador Vega y León
Rector General

M. en C. Q. Norberto Manjarrez Álvarez
Secretario General

Dr. Eduardo Peñalosa Castro
Rector de la Unidad Cuajimalpa

Dra. Caridad García Hernández
Secretaria de la Unidad Cuajimalpa

Dra. Esperanza García López
Directora de la División de Ciencias de la Comunicación y Diseño

Dr. Raúl Roydeen García Aguilar
Secretario Académico de la División de Ciencias de la Comunicación y Diseño

Dr. Hiram Isaac Beltrán Conde
Director de la División de Ciencias Naturales e Ingeniería

Dr. Pedro Pablo González Pérez
Secretario Académico de la División de Ciencias Naturales e Ingeniería

Dr. Rodolfo Suárez Molnar
Director de la División de Ciencias Sociales y Humanidades

Dr. Álvaro Peláez Cedrés
Secretario Académico de la División de Ciencias Sociales y Humanidades

Índice

Educación para la sustentabilidad. <i>Eduardo Peñalosa Castro y Rodolfo Quintero y Ramírez</i>	7
Introducción	15
Antecedentes y principios del desarrollo sustentable. <i>Rosalva Landa Ordaz y Miriam Alfie Cohen</i>	17
Marco conceptual. <i>Esperanza García López</i>	33
Todos somos naturaleza. <i>Nemesio Chávez Arredondo</i>	59
Aspectos ambientales de la sustentabilidad	67
Recursos naturales. <i>Sergio Revah Moiseev y Octavio Saucedo Lucero</i>	69
Biodiversidad. <i>Leticia Arregui Mena y Arturo Rojo Domínguez</i>	87
Energía. <i>Christopher Heard</i>	103
Bosques y sustentabilidad: retos y potencialidades <i>Rafael Calderón Contreras</i>	135
Aspectos socio-culturales	149
Derechos y justicia ambiental. <i>Sandra Elizabeth Álvarez Orozco, Bernardo Bolaños Guerra,</i> <i>Oscar Adán Castillo Oropeza y Montserrat Cayuela Gally</i>	151
Ciudades, gobiernos locales y sus redes frente a los retos locales para la sustentabilidad global <i>Leonardo Díaz Abraham</i>	169
Biodiversidad, conocimiento y diversidad cultural <i>Élodie Ségal</i>	185
Aspectos económicos	203
Introducción a la economía entre límites y necesidades <i>Sazcha Marcelo Olivera Villarroel</i>	205
Patrones de producción y de consumo. Aspectos económicos <i>Brenda García Parra</i>	225

Temas contemporáneos transversales	235
Indicadores de sustentabilidad	
<i>Flor Yunuén García Becerra</i>	<i>237</i>
Ciclo de vida. <i>Brenda García Parra</i>	<i>251</i>
Algunos elementos sobre los problemas del agua	
<i>Flor Yunuén García Becerra y Rosalva Landa Ordaz.</i>	<i>261</i>
Tecnologías para el control de la contaminación ambiental:	
Parte I: aguas residuales, residuos sólidos, residuos peligrosos	
y suelos. <i>Juan Antonio Velasco, Sergio Hernández Jiménez</i>	
<i>e Irmene Ortiz López.</i>	<i>275</i>
Tecnologías para el control de la contaminación ambiental.	
Parte II: contaminación del aire y gases de efecto invernadero	
<i>Sergio Hernández Jiménez e Irmene Ortiz López.</i>	<i>295</i>
Estudios de caso: la aplicación	
de los principios de química e ingeniería verdes	
<i>Maribel Hernández Guerrero, Roxana López Simeon,</i>	
<i>Hiram I. Beltrán Conde, Gabriel Vigueras Ramírez,</i>	
<i>José Campos Terán, Dolores Reyes-Duarte</i>	
<i>y Georgina Sandoval Fabián</i>	<i>313</i>
Pequeñas acciones sustentables: una ruta hacia	
los laboratorios verdes. <i>Maribel Hernández Guerrero.....</i>	<i>329</i>
La arquitectura bioclimática Espacios funcionales	
y saludables en comunicación con la naturaleza	
<i>Manuel Rodríguez Viqueira y Laura Elisa León Valle.</i>	<i>343</i>
Criterios generales para una construcción sustentable.	
Caso de estudio: zona de Cuajimalpa	
<i>Manuel Rodríguez Viqueira</i>	<i>367</i>
Nuevos energéticos: los biocombustibles. <i>Sylvie Le Borgne,</i>	
<i>Guillermo Baquerizo, Rodolfo Quintero y Ramírez.</i>	<i>387</i>
¿Pueden contribuir las plantas transgénicas	
al desarrollo sustentable?	
<i>Rosa Luz González Aguirre, Rodolfo Quintero y Ramírez.</i>	<i>413</i>
La sustentabilidad como eje transversal	
para la formación integral de los alumnos	
de Ingeniería Biológica de la UAM-Cuajimalpa	
<i>Dolores Reyes Duarte, Alejandra García Franco</i>	
<i>y Marcia Guadalupe Morales Ibarría.</i>	<i>433</i>
Guía de autores	451

Educación para la sustentabilidad

*Eduardo Peñalosa Castro
Rodolfo Quintero y Ramírez*

En el presente capítulo describimos el propósito de esta obra y el camino que se siguió para realizarla. También comentaremos algunos aspectos que consideramos innovadores, o al menos novedosos, en nuestra Institución.

En la Unidad Cuajimalpa (UAM-C) de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), el tema de sustentabilidad es considerado un aspecto fundamental y distintivo, en los documentos de su fundación se menciona a la sustentabilidad como un área que deberá desarrollar en su quehacer universitario, procurando que los alumnos la asimilen y la integren en sus tareas cotidianas, independientemente de la licenciatura que estudien. En esta obra se utilizan indistintamente los términos sustentabilidad y desarrollo sustentable; desde un punto de vista formal no son lo mismo, pero la evolución que ha tenido el tema lo permite.

En el reporte Brundland el término desarrollo sustentable ha sido definido como: “el desarrollo que atiende las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de cumplir con las suyas” (WCED, 1987). Y si bien esta definición parece adecuada, existe una dosis de vaguedad en ella, que da pie a interpretaciones diversas; coincidimos con Murray y Cotgrave (2007) al considerar que se da especificidad al concepto de desarrollo sustentable cuando se incorporan, a esta conceptualización, tres pilares: las dimensiones económica, social y ambiental, mismas que se encuentran interrelacionadas y deben atenderse de manera simultánea para lograr el progreso que se desea en este campo.

Dada la importancia que la sustentabilidad asume para asegurar el futuro del planeta, en las Instituciones de Educación Superior (IES) se ha manifestado un interés patente, que en el caso de la UAM-C ha conducido a su conceptualización como una de las líneas emblemáticas del trabajo de su comunidad académica.

Es por esto que desde los documentos de planeación de esta Institución se observan referencias que apuntan hacia el desarrollo sustentable como uno de los ejes fundamentales de acción.

Tal es el caso de la Misión de la Unidad estipulada en el Plan de Desarrollo Institucional 2012-2024 (PDI), la cual establece que su razón de ser es integrar una comunidad de alto nivel que trabaje en la formación de ciudadanos y profesionales con una formación sólida que incluye el respeto al medio ambiente; asimismo, en la Visión al 2024 se plantea que la Unidad tendrá un alto nivel de reconocimiento por sus contribuciones en la mejora del nivel de desarrollo humano de la sociedad, en especial de su zona de influencia (UAM-C, 2012). Tanto la Misión como la Visión marcan que esta Institución universitaria se orienta a la conformación de una comunidad respetuosa y consciente de las condiciones que privan en el mundo.

Otro documento que rige la actuación de la UAM-C es su Modelo de Responsabilidad Social Universitaria (UAM-C, 2013). En él se establece, en consistencia con lo planteado en la Misión y la Visión, que la instrumentación de las funciones sustantivas de la Universidad se realizará considerando el cuidado de los ámbitos social, económico y ambiental. El documento contiene una serie de estrategias que contemplan cada uno de estos ámbitos.

También se ha desarrollado el Programa Interdisciplinario de Desarrollo Sustentable (UAM-C 2014), que propone coadyuvar al logro de la Visión de la Unidad al 2024 y contribuir al cumplimiento del Modelo Educativo, siempre con énfasis en la formación de ciudadanos conscientes de la problemática ambiental, que puedan incidir a favor del desarrollo sustentable local y global de manera ética y responsable; reduciendo el impacto ambiental generado por las actividades universitarias, y posicionando a la Unidad como centro preocupado e implicado en el desarrollo sustentable, a través del trabajo multi e interdisciplinario y la realización de proyectos científicos, sociales y tecnológicos.

Como puede apreciarse, la UAM-C se propuso que la sustentabilidad constituyera un elemento central que gravitara siempre en el ejercicio de las funciones sustantivas, y esto ocurrió desde su creación en el 2005. El Modelo Educativo de esta Institución (Fresán, 2015) destaca a la sustentabilidad como uno de los principios que la rigen, dado que “es uno de los valores del presente y del futuro de una sociedad (...) que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades” (p. 19). En el siguiente texto se resume la visión de la sustentabilidad en la UAM-C, como aparece en dicho documento:

La Unidad asume la sustentabilidad como uno de los ejes rectores de su proyecto educativo y se compromete con el cuidado y gestión del medio ambiente, la conservación, recuperación y manejo de recursos naturales y la protección de ecosistemas. Considera necesario formar profesionales capaces de favorecer el desplazamiento del eje de las economías actuales hacia el desarrollo sustentable y que tales procesos formativos necesariamente trascienden las fronteras disciplinares y requieren una concepción multi e interdisciplinaria. El Modelo de Responsabilidad Social Universitaria de la Unidad Cuajimalpa afirma que esta casa de estudios tiene una vocación hacia el desarrollo humano sustentable, entendido éste como aquél capaz de crear condiciones de equidad que generen más y mejores condiciones de vida digna a las personas para que desplieguen todas sus potencialidades preservando al mismo tiempo los recursos naturales y el acervo cultural para las futuras generaciones (Fresán, 2015, pp. 19-20).

Consistentemente, en el diseño curricular de nuestras primeras cuatro licenciaturas se incluyó en el primer trimestre la Unidad de Enseñanza-Aprendizaje (UEA) Seminario de Sustentabilidad y Cultura Ambiental (en 2008 cambió su nombre a Seminario sobre Sustentabilidad). A medida que ha ido creciendo el número de licenciaturas ofrecidas por la UAM-C, se ha considerado que los temas relativos a la sustentabilidad son una parte fundamental de los conocimientos que todo universitario debe tener y que era importante que esto ocurriese desde el inicio de sus estudios universitarios.

Después de 11 años de operación de la Unidad, esta UEA ha sido impartida en las once licenciaturas de la Unidad más de 150 veces por un total de 51 profesores. Esta larga experiencia en la enseñanza de la Sustentabilidad nos ha mostrado que su carácter multidisciplinario dificulta el intento por definir qué es la sustentabilidad y, más aún, cuáles son las fronteras de lo que debe enseñarse en un primer curso introductorio, ya que en los últimos años han tenido lugar grandes cambios, tanto a nivel nacional como internacional. Por ejemplo: el cambio climático y sus posibles impactos en la salud, la agricultura y los consecuentes desastres naturales, son aceptados hoy en día como amenazas universales latentes; y otras consecuencias de gran envergadura, que se anticipan con el advenimiento del calentamiento global, son las migraciones de población de millones de personas por falta de agua, o la desaparición de bioregiones como el Polo Norte y la pérdida de especies; situaciones que se consideran reales y se trabaja internacionalmente para tratar de prevenirlas. Por otra parte el concepto *desarrollo sustentable* también ha sido aceptado y la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha establecido la Agenda 2030 para el desarrollo Sostenible, que incluye entre sus componentes aspectos económicos, sociales y ambientales a escala mundial.

Los principios del Modelo Educativo de la UAM-C son de tres tipos: a) filosóficos, que integran a la sustentabilidad, a la equidad y la justicia social, a la autonomía y la creatividad, así como a la ética y la responsabilidad social; b) pedagógicos, que incluyen una postura constructivista social, que promueve el pensamiento crítico y el aprender a aprender; y c) estructurales, que asumen una educación flexible, interdisciplinaria, basada en la movilidad, innovadora y pertinente. En estas tres dimensiones pueden encontrarse principios que muestran un enfoque hacia el desarrollo sustentable.

Con estos antecedentes, el Rector de la Unidad decidió convocar a todos los profesores que habían impartido la UEA de Sustentabilidad y los invitó a que formaran parte de un proyecto académico consistente en la escritura de un libro en el cual se plasmara lo que un alumno universitario debería conocer, estudiar y analizar sobre el tema, durante el primer trimestre de su licenciatura. Un total de 32 profesores acudieron a la reunión inicial y tras un ejercicio de consulta y participación colectiva se discutió y diseñó la propuesta para escribir el presente libro. Un aspecto inicial fue la definición de su contenido y cómo se agruparían los diferentes temas y áreas que forman parte de la sustentabilidad. Un grupo de profesores revisó las obras existentes sobre el tema, tanto en México como en el extranjero, y finalmente se propuso que serían cuatro grandes apartados los que lo conformarían.

El primero de ellos es de carácter general y establece las bases y fundamentos de la sustentabilidad, en este caso consta de tres capítulos. El siguiente apartado se refiere a los aspectos ambientales de la sustentabilidad y tiene cuatro capítulos. En el tercero, conformado por tres capítulos, se cubren los aspectos socio culturales, y en el cuarto, que consta de dos capítulos, se abordan los aspectos económicos. Finalmente hay un apartado que hemos denominado temas contemporáneos transversales, conformado por 12 capítulos. De los 38 coautores de los capítulos del libro, 34 son de UAM-C, uno de la Unidad Azcapotzalco y otro de la Unidad Iztapalapa de la UAM, uno del CIATEJ y uno más del Instituto Nacional de Investigación en Ciencias y Tecnologías para el Medio Ambiente y la Agricultura de Francia.

Cabe señalar que entre los autores miembros de la UAM-C hay profesores, alumnos de posgrado y técnicos académicos, provenientes de las tres divisiones académicas: Ciencias de la Comunicación y Diseño, Ciencias Naturales e Ingeniería y Ciencias Sociales y Humanidades.

A los profesores participantes se les pidió escribir al menos un capítulo sobre algún aspecto de la sustentabilidad que considerasen importante, que dominaran y que permitiese cubrir el objetivo general y los objetivos específicos de la UEA, con el fin de orientarlo principalmente a los alumnos

de primer ingreso, para que pueda ser utilizado como libro de texto o bien como material de apoyo para la impartición de la UEA Seminario sobre Sustentabilidad, que señala lo siguiente en el contenido de su Programa de Estudios:

Objetivo General: Comprender los principios y enfoques ambientales, sociales y económicos de la sustentabilidad para evaluar de manera crítica e informada problemáticas complejas e integrar esta visión de análisis complejo en su desarrollo profesional y personal, de manera que pueda tomar decisiones coherentes con esta visión.

Objetivos específicos:

- Analizar la interrelación entre los conceptos: sustentabilidad y sostenibilidad, sistema equilibrio y energía, para anticipar sus implicaciones en la problemática ambiental.
- Comprender que los recursos naturales son un bien común y que su agotamiento tiene diversas consecuencias.
- Comprender la importancia de la diversidad cultural como forma de preservación de interacciones adecuadas con el entorno.
- Definir en qué consiste la resiliencia social y como el acceso al conocimiento contribuye a ella.
- Comprender como los principios: dependencia de la energía solar, biodiversidad, reciclaje de nutrientes y control poblacional mantienen la sustentabilidad ambiental.
- Cuestionar la noción aislada de beneficio económico, y aprender a evaluar el beneficio en función de otros factores más allá de los financieros, para desarrollar la responsabilidad del alumno como gestor en los bienes comunes.
- Interiorizar la complejidad del problema de la sustentabilidad integrando las dimensiones social, económica y ambiental a partir de estudios de caso.

Consideramos que en los capítulos del libro se cubren los diferentes objetivos planteados y, más aún, se presentan varios estudios de caso.

Es importante mencionar que esta obra tendrá una doble función, como libro de referencia para la UEA Seminario sobre Sustentabilidad, y como material de apoyo para la impartición de otras UEA consideradas en los planes de estudios de la UAM-C. Entre los contenidos que podemos citar, se encuentra un grupo de cuatro UEA diseñadas por el Comité del Programa Interdisciplinario de Desarrollo Sustentable de la Unidad, pensadas de manera tal que permitan ofrecer un enfoque interdisciplinario en su impartición; tres de ellas

se generaron desde las divisiones académicas y la cuarta fue preparada por un grupo interdivisional.

Debe señalarse que el texto está pensado como una revisión de los temas más importantes en esta materia, especialmente para nivel universitario. En él se reúne a un conjunto de especialistas que tratan ángulos diferentes de esta problemática, por lo que puede ser un acompañamiento para la revisión parcial o total de otros programas de estudio.

La evaluación de libros de texto es pertinente, dada la importancia de contar con obras que acompañen los procesos de aprendizaje de los alumnos que transitan en una ruta hacia el alfabetismo sustentable, ya que los materiales pedagógicos juegan un papel fundamental en la participación de los alumnos y egresados en estas tareas (McDonald, 2016). En la medida en que los materiales de aprendizaje sean atractivos, guíen y complementen los procesos de apropiación de los temas y materiales de los cursos, estarán cumpliendo con su importante papel.

El mensaje para los alumnos y para quienes lean este libro es que el planeta, en términos de recursos, es finito y que es necesario modificar nuestra forma de vida. No hay soluciones únicas ni universales para cualquiera de las áreas que componen la sustentabilidad; es fundamental entender que las soluciones a los problemas que aborda deben ser integrales, considerando el presente y el futuro, las tecnologías tradicionales y las nuevas tecnologías, el crecimiento poblacional y el cambio climático. Entender que en diferentes regiones del planeta las posibles soluciones dependen de sus recursos y de cómo se utilicen.

En el mundo existe un movimiento que ha conducido a acuñar el concepto de alfabetización (“literacy”) en desarrollo sustentable, que considera “un conjunto de habilidades aprendidas que permiten que los individuos entiendan aspectos relacionados con la sustentabilidad, y sean capaces de tomar decisiones que conducen al desarrollo sustentable” (Murray y Cotgrave, 2007). Algunas de las habilidades relacionadas con la alfabetización en desarrollo sustentable son: la comunicación, la solución de problemas, la toma de decisiones, la creatividad y la gestión del cambio (Pappas, 2012).

Dale y Newman (2005) han indicado que la alfabetización en desarrollo sustentable puede conducir a la apropiación de un conjunto de habilidades críticas que ofrecen un marco de referencia sólido para la educación de los jóvenes, y que conduciría a adoptar reacciones socioecológicas adecuadas, además de la convicción de que en este campo solamente puede avanzarse

a partir de una postura de integración de diversas disciplinas, como se plantea en la presente obra.

De esta manera, tenemos que el desarrollo sustentable, visto en sus tres dimensiones básicas (social, económica y ambiental) debería estudiarse a lo largo y ancho de los planes de estudio de las universidades. Esto coincide con la visión de algunos especialistas que plantean que la currícula debería ser “más verde” (Kokkarinen y Cotgrave, 2012), ya que con esto se fomentaría el alfabetismo descrito y, a partir de ello, las actitudes de los estudiantes podrían ser cada vez más sustentables y responsables, contribuyendo al cuidado del medio ambiente.

La sustentabilidad es un reto que enfrentarán las próximas generaciones. Este libro pretende ayudar a entender el problema y a plantear alternativas de solución.

Referencias

- Dale, A. & Newman, L. (2005). Sustainable development, education and literacy, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 6 (4), 351-362.
- Fresán, M. (2015). *El Modelo Educativo de la UAM Cuajimalpa: 10 años de vida*. México, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa.
- Kokkarinen, N. & Cotgrave, A.J. (2012). Sustainability literacy in action: student experiences. *Structural Survey*, 31 (1), 56-66.
- McDonald, C.V. (2016). Evaluating junior secondary science textbook usage in Australian schools. *Research in Science Education*, 46, 481-509.
- Murray, P.E. & Cotgrave, A.J. (2007). Sustainability literacy: the future paradigm for construction education? *Structural Survey*, 25 (1), 7-23.
- Pappas, E. (2012). A new systems approach to sustainability: university responsibility for teaching sustainability in contexts, *Journal of Sustainability Education*, 3 (1), 3-18.
- UAM Cuajimalpa (2012). *Plan de Desarrollo Institucional 2012-2024*. México, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa.
- UAM Cuajimalpa (2013). *Modelo de Responsabilidad Social Universitaria*. México, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa.

UAM Cuajimalpa (2014). *Programa Interdisciplinario de Desarrollo Sustentable*. México, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa.

WCED (1987). *Our common future: report of the World Commission on Environment and Development*. Suiza, WCED.

Introducción



Antecedentes y principios del desarrollo sustentable

*Rosalva Landa Ordaz
Miriam Alfie Cohen*

Un poco de historia alrededor de la idea

Los efectos provocados por los modelos de apropiación de los recursos naturales empezaron a hacerse evidentes en diferentes partes del mundo a partir de la década de los sesenta. Fue entonces cuando inició un proceso de reflexión mundial acerca de los problemas ambientales ocasionados por el tipo de desarrollo de algunos países, el cual afectaba de manera significativa a los ecosistemas, a la producción de alimentos y a la obtención de bienes y servicios ambientales para la sociedad.

Se empieza así a cuestionar el desarrollo de las grandes potencias mundiales y se hace evidente que crecimiento económico no significaba necesariamente progreso humano. Al contrario, paulatinamente se hacían más evidentes las brechas entre países, el incremento en la desigualdad y la pérdida de recursos naturales; que eran la base de las actividades económicas.

Las transformaciones que dieron pie a la era industrial, entre las cuales se puede destacar el paso de una economía cerrada a una abierta, la ampliación de canales y estructuras políticas y los procesos de secularización, inauguraron un mundo cada vez más moderno que, a pesar de los adelantos científicos y técnicos, fue incapaz de prever el distanciamiento entre el modelo de desarrollo adoptado y el cuidado del medio ambiente.

Se impulsó de manera desenfrenada una industrialización a toda costa que, hasta finales de los años setenta, parecía no tener límite en su progreso y expansión. Sin embargo, el crecimiento exponencial de la población, aunado a la depredación de los recursos no renovables, el uso irracional de fuentes energéticas y el deterioro de los recursos renovables, marcaron el inicio de una nueva era donde la propia existencia humana se veía amenazada.

Al situarse en una perspectiva temporal, se puede asegurar que la revolución industrial fue el pivote que desató no sólo un auge económico, científico

y técnico, sino también el uso extensivo e irracional de los recursos naturales. Durante varios años, la imagen de cientos de chimeneas arrojando humo representó el progreso y la consolidación del poderío económico. Fue este el símbolo de una nueva época civilizatoria que dejaba atrás cualquier atadura con el pasado, pero que también era portadora de otros males, entre ellos la crisis ecológica del planeta.

El proceso de industrialización no sólo fue en aumento, sino que, en la mayoría de los países, su crecimiento fue poco planificado, lo que dio pie a resultados que deterioraron las condiciones ambientales. El crecimiento extensivo de esta nueva forma productiva, aunado al uso inadecuado y a la explotación intensiva y sistemática de los recursos naturales, se fue extendiendo de manera incontrolada, sin poder prever lo que hoy se presenta como un futuro incierto.

De este modo, los resultados de la violencia hacia el medio ambiente ponen en jaque al hombre, sin distinción de sexo, raza o religión. La dimensión sociedad-naturaleza se ve cuestionada. La inminencia de una crisis ambiental en el planeta no es algo remoto, pues de no revertirse las tendencias actuales, la situación de alto riesgo se presentará en dos o tres décadas.

Hasta 1960, el discurso ambiental no existe como concepto político ni de política pública. El panorama mundial de deterioro de los recursos naturales, los ejercicios nucleares y los “accidentes” ecológicos son los elementos que orillan a poner en la mesa de discusión internacional los asuntos ambientales.¹ Así, a principios de los años setenta del siglo XX los países desarrollados empezaron a preocuparse porque el desarrollo como tal no había logrado un equilibrio con el medio ambiente, y tampoco había producido equidad en la sociedad.

En este escenario, “La gran niebla de diciembre de 1952” en la ciudad de Londres fue una de las mayores catástrofes asociadas con altos niveles de contaminación industrial y con la muerte de más de 4 000 personas. Más adelante, en Estados Unidos inician algunas manifestaciones en contra del modelo de desarrollo imperante y sus efectos sobre la salud humana, a partir de la publicación, en 1966, del libro *Primavera silenciosa (Silent Spring)*, de Raquel Carson, que documenta el daño asociado al uso de agroquímicos promovidos como parte de los paquetes tecnológicos agropecuarios, que formaron parte de la llamada “revolución verde”. El uso de pesticidas se

¹ Cabe mencionar, entre los llamados “accidentes” ambientales, la muerte de cientos de aves en Gran Bretaña, los experimentos nucleares en el desierto de Nevada, los daños ocasionados por el DDT, entre otros (1960-1970).

vinculó con un alarmante número de casos de cáncer en las poblaciones expuestas. Paulatinamente se sumaron protestas ambientales en Europa y otras partes de América, ante el aumento en la degradación de la calidad del aire y de los problemas para la provisión de agua en cantidad y calidad adecuada en las ciudades. Para México, especialmente notorios fueron los casos de presencia de plomo en la sangre de niños recién nacidos en la Ciudad de México, en las décadas de los años 60 y 70, por la exposición a los altos niveles de contaminación del aire.

Las pautas de desarrollo que buscaban la máxima ganancia en el corto plazo a costa de la naturaleza y del bienestar de algunos grupos sociales, originó varias críticas, entre las que destacan:

- Los beneficios del desarrollo no se distribuían de manera equitativa entre todos los habitantes y grupos sociales.
- Se habían ocasionado graves problemas ambientales que ponían en riesgo a los ecosistemas y al bienestar social.
- Se habían provocado daños a la salud humana por la contaminación en las ciudades y por el uso excesivo de sustancias químicas en el campo.
- Al dañar a la naturaleza, se perdía la materia prima para la producción.

El desarrollo no podría mantenerse bajo pautas de enriquecimiento a corto plazo, a costa del bienestar de grupos socialmente marginados, de la pérdida de recursos naturales del planeta y de las posibilidades de sobrevivencia de futuras generaciones (Landa y *et al.*, 2010).

En este contexto, se conjuga una dinámica donde la destrucción de ecosistemas da lugar a la toma de decisiones políticas. Así nace el discurso del Desarrollo Sustentable que para John Dryzek (2007) promueve intentos imaginativos por resolver el conflicto entre el crecimiento económico y los valores ambientales. Además, genera discursos para resolver el problema de los límites al crecimiento; redefine los conceptos de crecimiento y desarrollo, y abre la puerta a una infinidad de significados sobre la llamada sustentabilidad.

Se inicia una serie de reuniones mundiales para enfrentar diversos aspectos de la problemática ambiental, particularmente enfocadas a la atención de la salud en las grandes ciudades. Con ellas se busca discutir sobre posibles estrategias que permitan disminuir las diferencias entre países que han llegado al desarrollo y aquellas naciones que no lo han alcanzado como desean, o bien cuyos habitantes permanecen en la pobreza. Lo anterior da origen a una serie de actividades y reuniones mundiales orientadas en tal sentido.

Algunos eventos y acuerdos mundiales sobre desarrollo sustentable

La primera reunión mundial sobre el ambiente fue la Conferencia de las Naciones Unidas para un Medio Ambiente Humano realizada en Estocolmo en 1972, de donde surgen algunos principios para la conservación y el mejoramiento del medio ambiente “humano”. Esta Conferencia promovió el desarrollo de la institucionalidad en los temas ambientales en varios países. En el caso de México, se creó, dentro de la Secretaría de Salud, la Subsecretaría de Mejoramiento y Protección al Ambiente en 1971 y se promulgó la primera Ley de Protección Ambiental. En el mismo año se presentó el reporte del Club de Roma sobre los límites al crecimiento, y para 1973 se formaliza la Convención Internacional sobre el Tráfico de Especies Amenazadas (CITES).

En 1980, la Unión Internacional por la Conservación de la Naturaleza (UICN) plantea la necesidad de un nuevo tipo de desarrollo que enfrente los problemas ambientales y que busque “armonizar” el desarrollo humano con la conservación de la naturaleza. Sin embargo, la idea se expresa de manera tan general que a pesar de tener influencia entre las organizaciones ambientalistas mundiales, no la retoman actores políticos y ni la incluyen en las agendas de desarrollo de los países.

En 1983 el secretario general de Naciones Unidas crea la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, que preside la primera ministra Gro Harlem Brundtland, con el objetivo de sugerir ideas y opciones para lograr que la creciente población del mundo pueda resolver sus necesidades frente al también creciente deterioro del planeta. De este proceso surgió el informe Nuestro Futuro Común (1985; WCED, 1987) en el que se acuña el término de desarrollo sustentable, entendido como: “El desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”; un nuevo paradigma que va mucho más allá del crecimiento económico y se encamina hacia el progreso humano.

Este informe examina los problemas más críticos en torno al desarrollo y el medio ambiente, e indica algunas propuestas de solución. Entre otros aspectos, se establece que la pobreza, la igualdad y la degradación ambiental no pueden ser analizadas de manera aislada (Foladori y Tomassino, 2000). Posteriormente, entre 1987 y 1989, se dan avances sustantivos en los temas de calidad del aire con la formalización del Protocolo para la Reducción de Emisiones de Azufre y sus efectos transfronterizos, y del Protocolo de Montreal sobre sustancias agotadoras de la capa de ozono. Más adelante se firmará el Protocolo sobre Emisiones de NO y sus efectos transfronterizos. En 1989 también se

emite la Convención de Basilea, enfocada a enfrentar el control de movimientos transfronterizos de residuos peligrosos. Para 1990 se declara la moratoria en la caza comercial de ballenas y se inicia un Programa de Acción Global para la Protección del Medio Marino de Actividades originadas en Tierra.

La discusión mundial que generó el Informe Brundtland nutrió de manera sustantiva a la Primera Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en Río de Janeiro, Brasil, en 1992, mejor conocida como La Cumbre de la Tierra. Como resultados de esta reunión, casi 178 países estuvieron de acuerdo en aplicar las ideas sobre el desarrollo sustentable, intención que plasmaron en la Declaración de Río y en la Agenda XXI. Entre los acuerdos vinculantes de esta Conferencia surgió la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que más adelante originó el Protocolo de Kioto; y la Convención de Diversidad Biológica, que después derivó en un protocolo sobre bioseguridad. Entre los resultados de esta cumbre también se dieron las bases para que en 1994 se firmara la convención para la lucha contra la desertificación mundial. Los compromisos de esta cumbre fueron refrendados más adelante por los países en las Metas del Milenio del año 2000 y en la Declaración y Plan de Acción de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sustentable, realizada en Johannesburgo en 2002.

Es importante destacar que, como parte de los resultados de la Cumbre de la Tierra, en el párrafo 40.4 de la Agenda XXI se indica la necesidad de definir indicadores de sustentabilidad que “[...] brinden fundamentos sólidos para la toma de decisiones a todos los niveles, y contribuyan a la autorregulación de la sustentabilidad en los sistemas integrados del ambiente y el desarrollo”. Los indicadores de sustentabilidad deberían expresar la interrelación entre el desarrollo socioeconómico y los fenómenos ecológico-ambientales, y convertirse, para los tomadores de decisiones, en una referencia para la evaluación del bienestar y la sustentabilidad de los países.²

Más adelante, en el año 2000, la Organización de las Naciones Unidas reafirma el compromiso de varios países por la sustentabilidad del desarrollo, mediante el establecimiento de grandes objetivos mundiales que se conocen como las metas del milenio o los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM).

Para el año 2002 se realiza un primer balance sobre los avances de los compromisos de la Cumbre de la Tierra, en la reunión Río más 10, que se realizó en Johannesburgo, África. Como resultado principal de esta reunión se emitieron

² Para una descripción y reflexión interesantes sobre este último aspecto, puede consultarse a N. Valverde (2015).

la Declaración y el Plan de Acción de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sustentable. En esta reunión mundial se reafirmó a la educación como fundamento de la sustentabilidad, previo compromiso plasmado desde 1992 en el capítulo 36 de la Agenda XXI emanada de la Cumbre de la Tierra. La reunión se caracterizó por el énfasis en aspectos de salud y por sus vínculos con los ODM y el acceso al agua, así como por la educación para la sustentabilidad, pobreza y atención de los grupos más vulnerables; enfatizando en los medios de implementación y algunos avances sobre el marco institucional. Los grandes temas ambientales que surgen con instrumentos vinculantes en 1992, contaban con sus propios espacios de negociación y acuerdos. Es decir, temas como el cambio climático, la desertificación como problema ambiental global y la conservación y uso sustentable de la biodiversidad, no fueron sustanciales en esta cumbre.

La última reunión Cumbre de la Tierra, Río más 20, se realizó nuevamente en Río de Janeiro, en 2012. Los contenidos de esta reunión estaban permeados fundamentalmente por el enfoque de “economía verde” (*Green Economy*), orientado en gran parte hacia la excesiva mercantilización del capital natural; una visión que contaba con la aceptación por ciertos países desde principios del año 2010. Este encuentro se caracterizó por un fuerte componente de participación de la sociedad civil y por la activa intervención de países cuya economía se consideraba en transición. Dicha participación favoreció que la sustentabilidad del desarrollo se refrendara como la vía para el progreso humano y se reafirmaron sus objetivos de origen; valorando aportes de la economía verde como un componente del esquema integral, mas no como el centro para la planeación del desarrollo mundial, a seguirse en los años siguientes. Los resultados de esta última cumbre dieron la pauta y los contenidos para la elaboración de la reciente Agenda Para el Desarrollo Sostenible 2030: Transformando Nuestro Mundo, de la Organización de las Naciones Unidas, que redefine los objetivos del desarrollo mundial (ODM) en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Principios y elementos críticos de la sustentabilidad

El Desarrollo Sustentable busca lograr el equilibrio entre dimensiones del desarrollo, pues intenta enfrentar al mismo tiempo las necesidades de conservación del ambiente con las necesidades de los grupos marginados de la sociedad y las del crecimiento económico (Landa *et al.*, 2010). La sustentabilidad implica abordar tres ejes temáticos, a saber:

Social: Persigue atender necesidades de grupos marginados, crear igualdad de oportunidades para la salud, la educación y el empleo, entre otras.

Económico: Significa disminuir condiciones de pobreza mediante la distribución equitativa de los beneficios del crecimiento económico.

Ambiental: Pretende que en la realización de las actividades humanas se cuide la base de los recursos naturales, se tenga en cuenta su capacidad de regeneración, la permanencia de ciertos recursos y el manejo de los desechos, de tal manera que el ambiente pueda asimilarlos o degradarlos.

Los tres ejes permiten visualizar en conjunto las estrategias para la planeación del desarrollo; no obstante, las partes involucradas en la sustentabilidad pueden ser tan variadas como las que se muestran en la figura 1.

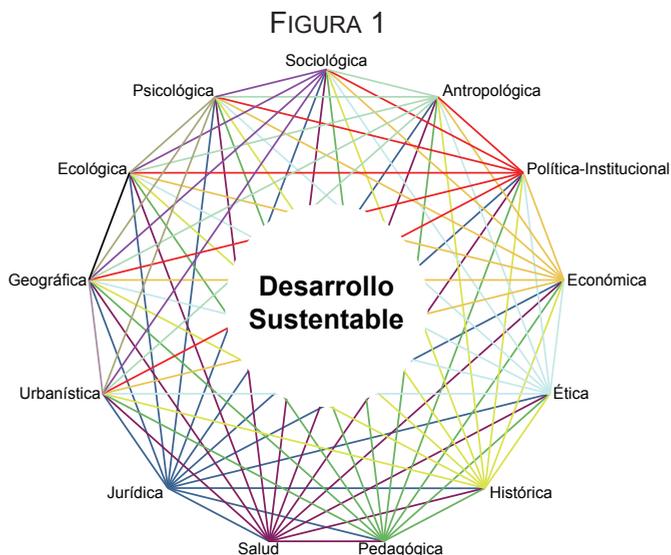


Figura 1. Dimensiones involucradas en el desarrollo sustentable (Landa y *et al.*, 2010).

El desarrollo sustentable no es un modelo definido, sino más bien un conjunto de principios que permiten a los países orientar sus formas de desarrollo de acuerdo a sus propias capacidades y condiciones sociales, económicas, ambientales y culturales. El principio básico del desarrollo sustentable es la integración de las dimensiones social, económica y ambiental, en la planeación del desarrollo, buscando que sea Biológicamente renovable, Económicamente viable y Socialmente aceptable.

En el aspecto *económico*, el desarrollo sustentable implica un crecimiento, pero con equidad, es decir mediante mecanismos distributivos de la riqueza que contribuyan a la superación de la pobreza. En el *social*, implica un compromiso de calidad de vida y bienestar con las presentes generaciones y un compromiso con las generaciones futuras, aspecto que los paradigmas

del pasado que consideraban al desarrollo como sinónimo de crecimiento económico, no habían incorporado. En el aspecto *ambiental*, implica que el desarrollo se basa en el uso de recursos naturales, donde, en el caso de los renovables, no sean extraídos a tasas superiores a su capacidad de reposición, y en el caso de los no renovables, se asegure su reemplazo. De igual modo se pretende que la generación de desechos y residuos no exceda las capacidades de la asimilación de los sistemas naturales; es decir, que no excedan la capacidad de carga de los ecosistemas (Provencio y Carabias, 1993; Landa y *et al.*, 2010). Considerando lo anterior, los principios del desarrollo sustentable se pueden sintetizar como sigue:

- Que el uso de los recursos naturales renovables no exceda su capacidad de regeneración.
- Que el uso de recursos no renovables no exceda su capacidad de sustitución.
- Que la generación de desechos y residuos no exceda la capacidad de asimilación de los ecosistemas.
- Búsqueda de la equidad.
- Superación de la pobreza.

La sustentabilidad permite que la economía funcione de manera articulada con los elementos sociales y ambientales; reconociendo que la base del desarrollo de los países está en su capital natural. Considerando esto, diversos planteamientos y reflexiones identifican como los tres elementos críticos de la sustentabilidad, a: la Producción, la Población y la Tecnología (Landa *et al.*, 2010; Provencio y Carabias, 1993).

Ambivalencias y críticas del concepto

El Desarrollo Sustentable interpretó la crisis ambiental a partir de ofrecer una salida “viable” al capitalismo. Utilizó, en primera instancia, el término ecodesarrollo que de acuerdo con Sachs (1980) comienza a gestarse a partir de la reunión de ONU-EPHE (1972), que fue preparatoria para la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, en Estocolmo (1972). En este encuentro se resaltó que los problemas ambientales y de desarrollo eran compatibles y debían tener una alternativa común. Para Sachs, ecodesarrollo es un “...concepto que podemos definir como un desarrollo deseable desde el punto de vista social, viable desde el punto de vista económico y prudente desde el ecológico” (Sachs, 1994: 719).

Así, Sustentabilidad significaba también continuación en el tiempo, por tanto, lo que debe sustentarse es el desarrollo, pero este último concepto es

muy controversial, depende del aspecto en que se use, es resbaladizo y cambia constantemente.

La concepción occidental sobre el desarrollo se fincó originalmente en la idea de crecimiento económico. Sin embargo, el aumento de la pobreza, la agudización de las desigualdades y el continuo deterioro de los recursos naturales, que constituyen el soporte físico de la producción y de los factores asociados a la calidad de vida, han obligado a replantear el concepto de desarrollo en el marco de un gran debate sobre las posibilidades y consecuencias de mantener los ritmos actuales de crecimiento, y proyectar los estilos y estándares de vida de los países desarrollados.

Por ello, hablar de Desarrollo Sustentable es muy complicado, ya que lleva implícitos patrones y modos de desarrollo ligados al crecimiento económico. Algunos modelos de este tipo de desarrollo no pueden durar mucho tiempo, pues tarde o temprano destruyen las bases ecológicas del planeta. Desde esta postura, el desarrollo no es abandonado como meta, lo que se plantea es un cambio donde sea posible combinarlo con cuestiones ecológicas y sociales, tanto en el nivel teórico como en el práctico (Harbort, 1991).

Las discusiones sobre Desarrollo Sustentable siempre conllevan dos elementos: uno, la sustentabilidad ecológica, que incluye la depredación de recursos, el aumento de la contaminación y la pérdida de valores “ecológicos” como la biodiversidad, los paisajes y el medio ambiente. El segundo, la sustentabilidad social, está ligado al tema de la pobreza. Es decir, se investiga cómo la pobreza da pie al deterioro ambiental, al generar la necesidad de estrategias de sobrevivencia, así como el crecimiento poblacional, el cual implica una mayor presión sobre los ecosistemas.

Desde esta perspectiva, hay un cuestionamiento muy importante para el Desarrollo Sustentable, sobre todo en referencia a qué es y cómo se entiende la sustentabilidad y las soluciones propuestas a los problemas ambientales. Para Lelé (1991) el gran problema del Desarrollo Sustentable consiste en aclarar la diferencia entre la sustentabilidad ecológica y la sustentabilidad social.

Al interior de la sustentabilidad social se plantean diversas salidas. Las primeras plantean que la solución al deterioro ambiental es técnica (políticas verdes, tecnología de punta, reciclaje, energías alternativas); mientras que las segundas mencionan una coevolución sociedad-naturaleza, donde se establece que los problemas sociales son también parte del desarrollo insustentable y, por tanto, que las soluciones deben ser consideradas tanto desde un punto de vista técnico como del social.

Para Foladori y Tommasino (2000) la sustentabilidad puede agruparse en tres grandes grupos: *a)* una sustentabilidad que es exclusivamente ecológica; *b)* una sustentabilidad ecológica y social, donde la parte social es un medio para llegar a la sustentabilidad ecológica, la cual denominan sustentabilidad social limitada, y *c)* una sustentabilidad social y ecológica en forma de coevolución (coevolución sociedad-naturaleza), es decir, una sustentabilidad fuerte.

En el primer grupo, los problemas ambientales se reducen a la depredación y contaminación de los recursos. Por ello, “[...] sustentabilidad significa asegurarse de que los recursos sustitutos se pongan a disposición cuando los recursos no renovables se vuelvan escasos; eso significa asegurar que los impactos ambientales de usar esos recursos puedan ser absorbidos por la capacidad de carga de la Tierra” (Pearce, 1993: 4).

Mientras tanto, el segundo segmento agrega a la sustentabilidad ecológica el tema de la pobreza, que sólo es considerada cuando provoca insustentabilidad. Por ello, la sustentabilidad social es de interés cuando afecta a la sustentabilidad ecológica. Con ello se ven sólo las consecuencias de la pobreza (deterioro de los recursos, agotamiento del suelo, crecimiento de la población) pero no las causas de la misma. Se trata de una sustentabilidad social limitada, pues lo que les interesa son las relaciones técnicas entre los pobres y el uso de recursos naturales.

Para ambos grupos la concepción de la problemática ambiental es técnica y las soluciones girarán en ese espectro. Se buscan tecnologías limpias o verdes, mejor aprovechamiento de los residuos, aumento de la productividad en el uso de los recursos naturales, variabilidad en el uso de recursos no renovables hacia renovables, cambio en el uso de energías, etcétera.

Para Lelé (1991), el segundo grupo representa la posición oficial sobre el Desarrollo Sustentable, misma postura que se defiende desde las Naciones Unidas, el Banco Mundial, el World Watch Institute, etc. Así, desde este punto de vista, el Desarrollo Sustentable abarca tres aspectos: la degradación ambiental (en gran parte causada por la pobreza, pero cuyos resultados afectan a todos); los objetivos tradicionales del desarrollo, como el aumento de la productividad para satisfacción de las necesidades básicas, ligado a métodos ambientalmente “amigables” y, sólo en algunos casos; a procesos de desarrollo participativos. Algunos de los temas que este segundo grupo aborda se colocan en la agenda internacional y abarcan:

- La necesidad de satisfacer la demanda de alimentos de una población creciente.

- El deterioro progresivo de los recursos naturales que constituyen el soporte físico de la producción agropecuaria.
- El desarrollo y la aplicación de tecnologías de bajos insumos e impacto ambiental negativo.
- El empobrecimiento de la población rural, la migración y la reestructuración de las relaciones entre el campo y la ciudad.
- El reconocimiento del valor económico de la biodiversidad y de los derechos de propiedad y usufructo. Y
- La corresponsabilidad

Por último, para el tercer grupo (coevolución sociedad-naturaleza o sustentabilidad fuerte) el medio ambiente está compuesto por el entorno que rodea a los humanos (otras especies y objetos), así como a otros seres vivos. Por lo tanto, los problemas sociales pueden generar insustentabilidad por sí mismos, más allá de que también afecten la sustentabilidad ecológica. Esto significa que la problemática ambiental debe ser analizada tanto desde la perspectiva técnica y en ello coincide este grupo con los dos primeros- como desde la perspectiva de las relaciones sociales.

A partir de esta postura se analizan las causas de la pobreza, el desempleo, el hambre, la explotación, la migración, la inequidad, entre otras.³ Se puede entonces establecer que la sustentabilidad fuerte pretende erradicar la pobreza y proveer de bienestar a las próximas generaciones, sin dejar de lado la protección ecológica, el crecimiento económico, la justicia social y la equidad intergeneracional; desde esta visión se tienen en cuenta además las tres dimensiones fundamentales.

Empero, existe una dificultad para alcanzar la sustentabilidad y ella radica en que es un constructo teórico que está en proceso de cambio e implica diferentes concepciones y enfoques. Existen, como se ha mostrado, muchas formas de entender la sustentabilidad. No es, por ejemplo, un problema o conjunto de problemas, ni una solución o conjunto de soluciones, sino un proceso de sensibilización que nos vuelve conscientes de la existencia de problemas complejos, sin plantear soluciones únicas o correctas para los mismos. Su esencia radica en sensibilizar y comunicar, más que en analizar y resolver. El concepto de sustentabilidad, en este sentido, requiere de constante interpretación y concepción de las formas en que puede operarse.

³ Es de llamar la atención que en las diferentes mediciones de la sustentabilidad, tanto las físico-naturales, como las socio-políticas, o las económicas, no hay indicadores para medir este tipo de insustentabilidad, pues al tratar de compaginar capitalismo y ambiente, lo que se privilegia son las relaciones sociales capitalistas (Foladori, 2000).

Puede decirse que la sustentabilidad pretende armonizar la explotación de recursos, la erradicación de la pobreza, el aumento de la participación social en la toma de decisiones conjuntas, la dirección de las inversiones, la orientación del desarrollo tecnológico y el cambio institucional, con el fin de fortalecer el presente y el futuro de las necesidades y aspiraciones del ser humano.

La sustentabilidad implica la coexistencia de condiciones ambientales, económicas, culturales, sociales y políticas para el funcionamiento de la sociedad de manera armónica, proceso continuo para reducir la injusticia, ampliar la equidad y establecer la redistribución. La armonía en el tiempo debe darse entre esta generación y las venideras, mientras en el espacio la concordancia se da entre los diferentes sectores sociales.

El Desarrollo Sustentable es un concepto muy ambicioso, pues incorpora un engranaje de soportes del sistema de vida y pretende un crecimiento perpetuo de la suma de las necesidades humanas. Se plantea entonces que deberá existir un enlace entre los sistemas naturales y los sistemas humanos que actúan de manera combinada. “Desde el punto de vista de sistemas, una sociedad sustentable es aquella que conserva en su lugar los mecanismos de información social e institucional para mantener vigiladas las curvas de respuesta positivas que causan el crecimiento exponencial de la población y el capital” (Shettler, 2000:78).

El Desarrollo Sustentable plantea un esfuerzo colectivo coordinado que elabore metas concretas e imagine infinidad de soluciones, y no confía en las tareas aisladas y espontáneas de los hombres. Por ello, algo que queda claro es la necesidad de definir con precisión la Sustentabilidad. Varios de sus críticos establecen su incapacidad para indicar la factibilidad de su puesta en marcha y para programar los pasos prácticos que llevarán al fin propuesto. Otros argumentan que el discurso culpa a los países del Sur, pues la explosión demográfica y su pobreza ponen en jaque al planeta. Varios críticos plantean las imposibilidades de poder calcular gustos y formas de vida de una generación que aún no habita el planeta.

Todas estas argumentaciones son ciertas, sin embargo, es pertinente apuntar que la discusión sobre la Sustentabilidad abre la puerta a un nuevo paradigma ambiental capaz de considerar, de una vez y efectivamente, la influencia recíproca, ineluctable, entre leyes ecológicas y regulaciones políticas, económicas y sociales. “El grave problema actual de la degradación del medio ambiente exige que la sociología abandone su antropocentrismo exacerbado, que reconozca la interacción entre fuerzas sociales y naturales, y que abandone, sobre todo, la ilusión de creer que la especie humana está exenta de las leyes que rigen a las otras especies biológicas, vegetales y animales” (Ballesteros, 1997: 17).

Para la Sustentabilidad, es fundamental la acumulación de conocimientos y el desarrollo de nuevas tecnologías que incluyan: a) un análisis detallado de los costos y beneficios de las tecnologías en uso, b) tecnologías de corte humano, y c) tecnologías simples, flexibles y sustentables que aseguren la capacidad de soporte de los recursos naturales. Sin embargo, junto con estos nuevos patrones es necesaria una reorientación de los niveles de poder para, de manera efectiva, enfrentar los retos del deterioro ambiental.

Este discurso interdisciplinario, multifacético, descentralizado, plural y basado en un compromiso amplio, donde la Sociedad Civil desempeña un papel fundamental, funciona como el ideal de lo que debería construirse socialmente. Se puede, entonces, asumir que este discurso ha sido utilizado mayormente por las Organizaciones no Gubernamentales, las Organizaciones de la Sociedad Civil, países de economías emergentes y sectores que tratan de reorganizar tanto los recursos naturales como las fuentes de energía. Es una visión de proyecto político-económico que plantea construcciones donde se compaginen sociedad y medio ambiente.

El cambio que propone este discurso ha llegado a plantear un paradigma alternativo. Entre sus propuestas destaca la solución de Henderson, que incluye una democratización de la economía a corto plazo y a escala micro-económica, así como la introducción de formas de democracia inclusiva a largo plazo, además de nuevas formas de medir la riqueza y el crecimiento, libre transferencia tecnológica, monetarización de los servicios no remunerados, nuevas formas de producción y consumo, respeto y promoción de diversos estilos de vida. Asimismo, comprende la utilización y puesta en práctica del producto interno bruto ajustado ambientalmente (PIA), el índice de desarrollo humano (IDH) y la incorporación del deterioro ambiental en las cuentas nacionales (Henderson, 1995: 98).

Posiciones como la de Schumacher (1973), Sachs (1980) y Galtung (1984) plantean que el origen de los problemas ambientales es la desigualdad entre los países del Norte y del "Sur" motivada principalmente por las economías de acumulación y por el consumismo de las sociedades occidentales. La solución pasa por la transferencia de recursos tecnológicos y una cierta planificación, pero, sobre todo, por un desarrollo regional adaptado a los recursos naturales del entorno y a la cultura de esa sociedad (Small is Beautiful, Soft Energy Paths, The Closing Circle).⁴

4. "Lo pequeño es hermoso", "patrones de energía suave" y "círculo cerrado" son diferentes alternativas que tratan de armonizar la relación naturaleza-sociedad así como el binomio medio ambiente-desarrollo, a través de programas donde planeación, uso adecuado de tecnologías, alternativas energéticas, recuperación de áreas verdes y reciclado desempeñan un papel fundamental.

Aun cuando en la práctica esta escuela no ha podido unir la visión económica y la ambientalista de manera clara, y establecer propuestas concretas, los actores que defienden su postura se plantean, como objetivo, recuperar el concepto de manera dinámica, de modo que dé cuenta de las distintas esferas que aborda, y, por tanto, tratar de elaborar una unidad de análisis mediante un enfoque integrador.

Algunos avances en México

Particularmente para México, la transición al desarrollo sustentable ha tenido avances significativos en diferentes campos. El país es signatario de los acuerdos firmados en la Cumbre de Desarrollo y Medio Ambiente celebrada en Río de Janeiro en 1992. Desde entonces, avanzó en la creación de instituciones especializadas, en la elaboración e implementación de políticas públicas; de instrumentos de planeación, normativos y económicos; en el fortalecimiento del marco jurídico; en la construcción de espacios de participación social; en la capacitación de numerosos actores; en la construcción de sistemas de información; en la formulación de una plataforma programática, y en múltiples ejemplos de proyectos productivos sustentables, locales y regionales.

Sin lugar a dudas, una de las capacidades construidas más notables corresponde a los grupos de los sectores académico, social, privado y público que se han formado bajo el enfoque de este paradigma del desarrollo sustentable y que actualmente constituyen “masas críticas” para orientar el desarrollo hacia la sustentabilidad. En las últimas dos décadas también se ha generado una gran cantidad de información que arroja diagnósticos e indicadores acerca de las condiciones en que se encuentra el país (CeIBA, A.C., 2012).

A pesar de los avances, el modelo de desarrollo que ha seguido el país está muy lejos de ser sustentable. La sustentabilidad del desarrollo implica un nuevo enfoque de análisis y planeación del desarrollo nacional y regional que ha de integrar los aspectos culturales, sociales, económicos y ambientales que inciden en cada situación, para entender sus alcances y generar soluciones reales y posibles. Se debe construir una política de Estado hacia la sustentabilidad a partir de una visión de conjunto y definir una clara visión de futuro.

Se reconoce ampliamente que el programa de gobierno más articulador que se ha generado en los últimos años en México es el Programa Especial de Cambio Climático, que tiene sus bases en la primera Estrategia Nacional de Cambio Climático (CICC, 2007; 2009; Landa y *et al.*, 2010). Con estos instrumentos programáticos se podrían sentar las bases de una verdadera agenda del desarrollo sustentable en México. No obstante, el avance hacia un verdadero desa-

rollo sustentable no puede darse si sigue limitado a las políticas ambientales. Es por tanto necesario abordar de manera enfática las tres dimensiones de la sustentabilidad para poder establecer nuevas formas de desarrollo.

Bibliografía

- Alfie, M. (2005), *Democracia y desafío medioambiental en México. Retos, riesgos y opciones en la nueva era de la globalización*, Barcelona/ México, Pomares/ UAM-A.
- Ballesteros, J. (1997), *Sociedad y medio ambiente*, Madrid, Trotta.
- Carson, Raquel (1966), *Primavera silenciosa*. (<http://iipdigital.usembassy.gov/media/pdf/books/carson-sp.pdf>).
- CelBA, A.C. (2012). *Fortalecer el Desarrollo Sustentable: una prioridad nacional*, México, Centro Interdisciplinario en Biodiversidad y Ambiente, A.C.
- CICC (2007), *Estrategia Nacional de Cambio Climático. México, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático*, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- (2009), *Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático*, México, Presidencia de la República.
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1988), *Nuestro Futuro Común*, Madrid, Alianza Editorial.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano. (1972), *Declaración de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano: Proclamaciones y Principios*, Estocolmo.
- Dryzek, J. (1997), *The Politics of the Earth*, Inglaterra, Oxford University Press.
- Foladori, G. (2000), *Sustentabilidad ambiental y contradicciones sociales. Ambiente & Sociedade, Campinas, Nepam/ Unicamp*.
- Foladori, G. y H. Tommasino (2000), *El concepto de Desarrollo Sustentable 30 años después. Desenvolvimento e Meio Ambiente*, núm. 1, pp. 41-56, enero.-junio), Río de Janeiro, UFPR.

- Galtung, J. (1984), *Hay alternativas*, Madrid, Tecnos.
- Harborth, H. J. (1991), *The debate about sustainable development: Starting point for an environment-oriented international development policy? Economics*, vol. 44, pp. 7-31, Alemania, Institute for Scientific Cooperation.
- Henderson, H. (1995). *Redefiniendo la Riqueza, Medio Ambiente y Economía*, Barcelona, Nuestro Planeta.
- INE e INEGI (2000), *Sustainable Development indicators of Mexico*, México,
- Landa, R., B. Ávila y M. Hernández (2010), *Cambio Climático y Desarrollo Sustentable*, México, British Council, PNUD, UNESCO, IMTA, Flacso.
- Lélé, S. M. (1991), *Sustainable Development: A critical review. World Development*, vol. 19, núm. 6, pp. 607-621, junio, Gran Bretaña, Pergamon Press.
- Pearce, D. (1993), *Blueprint 3. Measuring Sustainable Development*, Londres, Earthscan.
- Provencio, E. y J. Carabias. (1993), "El enfoque del desarrollo sustentable. Una nota introductoria", en A. Azuela, J. Carabias, E. Provencio y G. Quadri, *Desarrollo Sustentable. Hacia una política ambiental*, México, UNAM.
- Sach, I. (1980), *Ecodesarrollo. Concepto, aplicación, implicaciones. Comercio Exterior*, vol. 30, núm. 7, pp. 718-725, México.
- _____ (1994), *Estratégias de transição para o século XXI. Cadernos de Desenvolvimento e Meio Ambiente*, núm. 1, Curitiba, UFPR.
- Schumacher, E. F. (1973), *Small is Beautiful: Economics as if People Mattered*. Londres, Blond & Briggs.
- Shettler, T. (2000), *Generations at Risk*, Massachusetts, MIT Press.
- Valverde, N. (2015), "El Páramo y la Justicia. Sustentabilidad y Desarrollo Humano", *Cuadernos Universitarios de Sustentabilidad*, núm.1: 2-12, México, UAM Cuajimalpa.
- WCED (1987), *Our Common Future*. Londres, Oxford University Press.

Marco conceptual

Esperanza García López

Actualmente la tan utilizada acepción “sustentabilidad”, que si bien inicia como una traducción del inglés, resulta complejo definirla. Se ve esgrimida indiscriminadamente en expresiones como: una camiseta más sustentable, o bien, está hecho de materiales naturales, por eso es sustentable, u otras como: hay que ser sustentable, por eso hay que actuar de tal o cual modo; además que de hecho han desvirtuado la legítima preocupación por preservar un mundo para nosotros y nuestras generaciones venideras, no sabemos si como un mundo mejor, pero sí, al menos, como un mundo habitable.

Hay una definición de ecología que utiliza un investigador llamado Clarke (1976), que nos permitimos tomar para intentar definir el término sustentabilidad; él dijo: “[...] Ecología es el arte de hablar de aquello que nadie conoce realmente, en un lenguaje el cual todo el mundo pretende comprender”. Tiene gran parte de verdad, pues todos pretendemos comprender qué es y a qué se refiere la sustentabilidad, pero es difícil de describir, ya que debe ser concebida desde una integralidad de disciplinas y rebasa por mucho todos los sistemas imaginados antes del siglo XX, por lo cual hay una cierta perplejidad en su definición debido a que siempre habrá alguna frontera que no ha sido considerada.

Después de sustentabilidad se acuña sostenibilidad; en algunos países, como España, ambas palabras se utilizan como sinónimos; sin embargo, en este capítulo pretendemos hacer una definición diferenciada de cada una de ellas, pues los alcances e incluso la propia etimología no provienen de la misma fuente.

Sustentabilidad

El concepto de Desarrollo Sustentable surge en 1987 durante la XLII Sesión de la Asamblea General de la ONU, en el documento titulado Informe Brundtland, como producto de la labor de la Comisión de Trabajo y Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas (1983).¹

A partir de esa reunión se habla del concepto, entendiéndose en cada lugar y por cada sociedad de manera diferente. En la Cumbre de Río (1992), después de un esfuerzo por parte de todos los países participantes, se intentó definir formalmente y se marcaron acciones a seguir configuradas en la Agenda 21 (UNESCO, 2005), para lograr la sustentabilidad, y es justo en este momento que nace el concepto Sostenibilidad, que definiremos en seguida.

En la Declaración de Río se definió, en el Principio 3°, al Desarrollo Sustentable como aquel que: “satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro, para atender sus propias necesidades” (ONU, 1987).

Sin embargo, aunque esta definición parte de la preocupación por el medio ambiente; no hace referencia a temas de carácter ambiental; sino por el contrario, pareciera ser que tiene la visión de que el medio ambiente es un aspecto separado de la actividad humana. Pero la realidad nos dice que el medio ambiente está implicado con la actividad humana y que la mejor manera de protegerlo es teniendo en cuenta todas las decisiones que se adopten respecto al tema:

La sustentabilidad estará involucrada en cambios fundamentales sobre la calidad del crecimiento y desarrollo, entendiendo que un desarrollo real y válido apoya a la gente para su autoestima en necesidades físicas, y para su auto-realización en su desarrollo espiritual; un desarrollo válido preserva una identidad cultural y las diversidades naturales de un lugar específico (Salas, 2006: 185).

Desde la Cumbre de Río (1977), se define al Desarrollo Sustentable como: “El proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras”. Asimismo, es preciso señalar que el Desarrollo Sus-

¹ La conferencia de Estocolmo fue el parteaguas en cuanto a la visión ambiental, muchos de los conceptos fueron descritos en este informe por lo que se retomará también en el “Capítulo 4”: educación ambiental.

tentable tiene tres componentes esenciales que deben tenerse en cuenta: “el ambiente, la sociedad y la economía”.

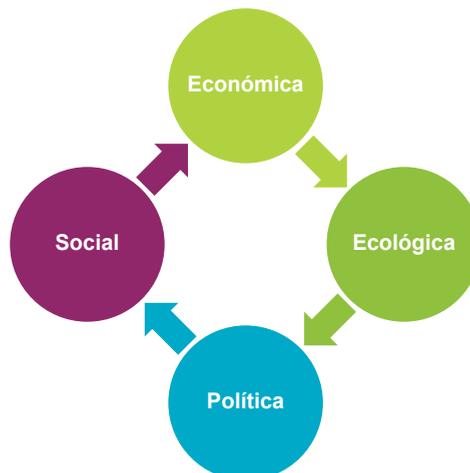
FIGURA 1. COMPONENTES DEL DESARROLLO (1987)



El desarrollo económico y social de una comunidad no sólo se mide por medio de los bienes materiales; sino que también mediante la mejor calidad de vida de los individuos (ONU; 2006).²

Con base en lo anterior, la UNESCO, en su programa Educating for a Sustainable Future (1992), establece que no son tres sino cuatro las dimensiones de sustentabilidad, y añade la esfera política, fundamental para que la gestión pueda llevarse a cabo.

FIGURA 2. DIMENSIONES DE LA SUSTENTABILIDAD (1992)



² Concepto acuñado también en la Conferencia de Estocolmo y que es un elemento de juicio sobre el bienestar individual desde una perspectiva integral de desarrollo humano.

“La sustentabilidad social es aquella que se vincula con los valores y principios de la paz y equidad; la ecológica, con la conservación; la sustentabilidad económica, con el desarrollo adecuado, y la política, con la democracia”; la ecológica, con la conservación de los bienes y recursos naturales; la sustentabilidad económica, con el desarrollo adecuado y óptimo que permita crecer, pero sin dañar al medio ambiente, y la política, con la democracia, para que todos gocemos de las mismas oportunidades (UNESCO, 1992).

Asimismo, implica que una sociedad sustentable es aquella en la cual:

- La gente se preocupa por los demás y valora la justicia social y la paz.
- Se protegen los sistemas naturales y se utilizan los recursos sabiamente.
- Se valora el desarrollo adecuado y la satisfacción de las necesidades básicas para todos.
- Toman sus decisiones por medios justos y democráticos.

En 1987, la Comisión Mundial para el Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas hizo un llamado para crear un documento que contuviera los principios fundamentales para el desarrollo sostenible. En 1997 se conforma, con expertos representantes de las comunidades base, una comisión para crear este documento que se llama Carta de la Tierra (1997), con cuatro principios fundamentales: 1) Respeto y cuidado de la comunidad, 2) Integridad ecológica, 3) Justicia Social y Económica, y 4) Democracia, no violencia y paz.

Se define que una “sociedad sustentable” es aquella en la cual:

La gente se preocupa por los demás y valora la justicia social y la paz; en la que se protegen los sistemas naturales y se utilizan los recursos sabiamente; se valora el desarrollo adecuado y la satisfacción de las necesidades básicas para todos; y en la que se toman sus decisiones por medios justos y democráticos (UNESCO, 1992)

Sostenibilidad

La palabra ha sido acuñada en fechas recientes, y la definición que más nos ha convencido señala que es: “... el estado en el cual pueden satisfacerse las necesidades de la población actual y local sin comprometer la capacidad de generaciones futuras o de poblaciones de otras regiones de satisfacer sus necesidades”

La diferencia principal entre sustentabilidad y sostenibilidad radica en que la primera es un proceso de mejoramiento sostenido de la calidad de vida del individuo, fundado en la conservación y protección del medio ambiente de las generaciones futuras, y la sostenibilidad es un estado de satisfacción de las necesidades, sin mezclar la capacidad de otras generaciones (Shu-Yang, 2004).

De hecho la sostenibilidad es un concepto más globalizado en el que se persiguen cambios tecnológicos, una nueva forma de usos y costumbres en la vida cotidiana que toca un cambio de formas de vida para el uso de sistemas distintos, cambio en la generación de energía, e incluso cambios en los comportamientos humanos en general. Entendiendo el marco de la conferencia de Río, podríamos vincular la sostenibilidad de las relaciones de países del primer mundo con los países en vías de desarrollo, ya que es una relación de generación de tecnología vs. consumo de energía y recursos.

Hablar de sustentabilidad y de sostenibilidad es algo prioritario, por lo tanto, no podemos pasar por alto otros dos aspectos que tienen que ver con los recursos naturales renovables y los no renovables que se han mencionado repetidamente en cuanto a su conservación y protección, es por eso que antes de pasar a cualquier otra cosa, dedicaremos otro apartado para referirnos a estos recursos.

“La implementación ambiental debe ser comprendida y debe ser incluyente” (Hart, 2003: 30). Hay que recordar que todo lo implementado en cuanto a sostenibilidad es una acción-reacción (Goffin, 1984) y que la reacción, a veces, con una mala decisión puede ser peor que los beneficios obtenidos.

Recursos Naturales Renovables y No Renovables

En términos muy tácitos, si hablamos de la tierra desde su origen podríamos pensar que todos sus recursos son renovables, pero: “[...] los periodos de renovación y degradación varían” (Mandell, 2003: 78), así como la resiliencia de los ecosistemas de la cual son extraídos; son entonces tres las variables a considerar.

Definimos la connotación de renovabilidad basados en la teoría de la evolución y adaptación de las especies a un nuevo medio (Duvigneau, 1980), el cual define a la tercera generación del individuo como aquella que adapta e incluso transmite su información genética para lograr la adaptación. Esta teoría, trasladada a la especie humana, en la cual el promedio de vida mundial actualmente es de 67.5 años (Vaupel, 2002) tomando las tres generaciones,

entonces los procesos de adaptación de la especie humana serán de 202.5 años, por lo que todo lo que pueda renovarse y regenerarse en la misma condición, cantidad y proporción que lo existente actualmente dentro de este lapso (202.5 años) será renovable; con esta aclaración, definimos entonces a los recursos naturales renovables como aquellos elementos que se obtienen de la naturaleza, que con los cuidados adecuados pueden mantenerse o incluso incrementarse. Los principales recursos renovables son las plantas y los animales, pero a su vez las plantas y los animales dependen para su subsistencia de otros recursos, como el agua y el suelo.

Los recursos no renovables, entonces, los definiremos como aquellos elementos que existen en cantidades determinadas y que al ser sobreexplotados pueden acabarse. Un ejemplo de este tipo de recursos es el petróleo, ya que en cuanto se utiliza no puede recuperarse en su forma original más que en tiempos realmente largos.

Para entender mejor los recursos es necesario manejar datos de orografía, clima, flora, fauna, topografía, polarimetría, geología, etc.; debe tenerse un perfecto conocimiento de la oferta y la demanda de éstos, su grado de escasez y abundancia y los usos tanto reales como probables, todo para valorarlos adecuadamente y administrarlos para ser aplicados y recuperados dentro de sus periodos individuales de renovabilidad.

La resiliencia entra en el discurso de una manera importante. La palabra proviene del latín *resilio*, *resiliere*, que denota la capacidad de “saltar hacia atrás, de rebotar”, y en este capítulo la definimos como la capacidad de un sistema para recuperarse frente a la adversidad, es decir para volver a su estado natural, especialmente después de alguna situación crítica.

Esto se refiere, por ejemplo, a comunidades que pueden superar cambios en el medio ambiente que les rodea, sin modificar su forma de interactuar con él (Pérez Porto, 2013), y a nivel natural podemos decir que es la capacidad que tiene un ecosistema para permitir sobrellevar las diversas perturbaciones que pudieran surgir en su entorno sin afectarse, o bien con afectaciones tales que su misma condición lo haga ser susceptible de autogestionarse y reorganizarse, esto es, que un sistema natural tenga la capacidad de reunir las herramientas necesarias para enfrentarse a cambios sin que éstos generen una transformación en la base de dicho espacio.

Está en relación con los recursos no sólo naturales, que sin duda se concatan con los conceptos de renovabilidad, sino también con la fortaleza que tengan algunas estructuras sociales de permanecer en el espacio-tiempo a pesar de ser embestidas por situaciones externas diversas.

Este “salto atrás” no se observa como regresar al origen, puesto que en estos tiempos es casi imposible pensar que los recursos se van a quedar intocables al igual que los ecosistemas y las sociedades; nos referimos a que la transformación no se basará en una pérdida de valor económico, social o ecológico, pero sí en la capacidad de adaptación y transformación.

Medio ambiente

Frente a la palabra Sustentabilidad, en momentos se aprecia como otro sinónimo aquella palabra referida al medio ambiente, aunque a últimas fechas esta tiene una excepción más bien ligada a procesos naturales; no obstante, también es cierto que no se refiere únicamente a esto; excluyendo al hombre, la mejor definición nos parece que es: “[...] *el sistema dinámico definido por las interacciones físicas, biológicas y culturales, percibidas o no entre los hombres, los otros seres vivos y todos los elementos del medio, sean éstos naturales, transformados o creados por el hombre* (FUL, 1984).³

Si desglosamos la definición notamos avances importantes en los diferentes conceptos:

Sistema: El medio ambiente presenta características sistémicas, puesto que está conformado por un complejo conjunto de elementos estructurados, funcionales y en interacción; no tanto por los elementos constituyentes sino por las relaciones que los unen.

Interacción: Es fundamental en el binomio ser vivo-medio; el medio no es únicamente algo inmutable, es aquello que se transforma continuamente bajo la acción de un ser vivo. De la misma manera, este último no es impermeable al efecto del medio, se autoconstruye en función de las potencialidades que éste presenta.

Percibidas: Nuestra percepción del medio y las interacciones que en él se manifiestan dependen de las características fisiológicas específicas; algunos elementos del medio escapan a nuestra percepción; dicho de otro modo, es con referencia a una cultura como se forma una combinación particular de modelos, normas y valores ideológicos en los que el hombre entra en relación e intercambio con su medio. “Para el hombre, al contrario que para el ambiente animal, el mundo es objetivo”, no únicamente un mundo ‘específico’ sino más bien un mundo aparente” (Bruntland, 1972: 23).

³. Las cursivas son propias.

Una definición contemporánea que engloba esta misma filosofía pero aporta la noción de renovabilidad es la de Tommasino, que dice:

“El medio ambiente es el entorno que afecta y condiciona especialmente las circunstancias de vida de las personas o la sociedad en su conjunto. Comprende el conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar y en un momento determinados, que influyen en la vida del hombre y en las generaciones venideras” (Tommasino, 2001: 9).

Queda evidenciado que el medio ambiente no sólo incluye el desarrollo de la vida, sino además a los seres vivos, objetos, agua, suelo, aire, y a todas aquellas relaciones que se establecen entre ellos. Asimismo abarca elementos intangibles, como la cultura. Dentro del medio ambiente, encontramos factores como:

- Ambiente Físico:
 - Geografía Física, Geología, Clima, Contaminación.
- Ambiente Biológico:
 - Población Humana: Demografía.
 - Flora: Fuente de alimentos, Influye sobre Vertebrados y Artrópodos, como fuente de agentes.
 - Fauna: Fuente de alimentos, Huéspedes vertebrados, Artrópodos vectores.
- Agua.
- Ambiente Socioeconómico:
 - Ocupación Laboral o Trabajo:
 - Exposición a agentes químicos, físicos.
- Urbanización o Entorno Urbano y Desarrollo Económico.
- Desastres: Guerras, inundaciones (Sancy, 1972).

En resumen, podemos definir al medio ambiente como:

- Global, con elementos múltiples que se estructuran constantemente (sistémico).
- La multiplicidad de problemas que le conciernen dependen de formas de vida “naturales” y “sociales” (interdisciplinario).
- Debe ser localizable la tierra, el país, la región, la cuadra (macro, meso o micro medio ambiente)

- El hombre nunca es exterior o extraño al medio ambiente con el cual entra en relación (desarrollo sustentable)

Estándares, normas, códigos y reglamentos de Sustentabilidad

Para que todas estas tecnologías “verdes” puedan ser implementadas de una manera más social, es importante que existan estándares, códigos y reglamentos de construcción con resultados ya probados y medidos.

Los estándares para construcción no son nuevos, pues ya se mencionan en los códigos Hammurabi hechos en Babilonia en 1758 a.C. Este reglamento no sólo da algunos estándares de construcción actuales, sino que también recomienda métodos de construcción y materiales que habían demostrado funcionar bien y que evitaban penalidades; algunos decían que: “Si un constructor construye una casa para un hombre y su trabajo no es suficientemente fuerte, y si acaso la casa se derrumbase y matase a su dueño, este constructor deberá ser difamado” (Rodríguez, 1985). En Grecia, en la época socrática se realizó un reglamento de construcción que decía que: “la casa ideal debe ser fresca en verano y cálida en invierno” (De Hoyos, 1987: 13); “las casas se orientan hacia el sur y las ciudades se planean para que todos sus habitantes tengan igual acceso al sol de invierno” (*ibid.*: 14).

En 1189 Londres necesitó una aprobación oficial relativa a las paredes “medianeras”.⁴ Problemas relativos a la ventilación, el suministro de agua, los baños, las escaleras, fueron implementadas en los reglamentos americanos de 1905. En México, en la época colonial había normas acerca de cómo hacer las viviendas basados en los reglamentos que databan de los siglos XVI y XVII y que respondían a las *Ordenanzas* de Felipe II (Lira, 1993):

“El principio en cuestión aparece sancionado y explicado de manera sistemática en las Ordenanzas de 1573 (“Provisión en que se declara de que se ha de tener en las indias, en nuevos descubrimientos y poblaciones que en ella se hicieren”), inspiradas directamente del texto clásico de Vitrubio que Felipe II conocía de primera mano por la traducción manuscrita que le presentó en 1565 F. Villalpando”. Los reglamentos de construcción en México datan del siglo XX, en la época de la modernidad arquitectónica (Ibarra, 1987). Son funcionalistas quienes dieron las pautas de calidad de vida mínima y

⁴ Término usado en México cuando un muro es común a dos propiedades y se encuentra en el eje del lindero. En esa época, en el Reino Unido se llamaban Common walls (muros comunes).

desarrollaron el reglamento de construcción del que se tomaron conceptos mínimos para proveer de confort a los espacios, como: ventilación, iluminación, tamaño mínimo, escaleras, pasillos, derecho a ambientes saludables, acceso al área verde y exteriores, etc. Hemos avanzado varios pasos desde Hammurabi, hasta llegar al desarrollo de estándares y reglamentos internacionales que se está consolidando cada vez más en el plano ecológico. Hay muchas organizaciones involucradas, sobre todo en estándares energéticos así como en los de materiales, métodos y resultados de pruebas.

En Estados Unidos, el ICC (Internacional Code Council) está haciendo importantes esfuerzos en cuanto a la implementación de reglamentos de construcción (Eisenberg, 2000).

Las NOM (Normas Oficiales Mexicanas), en el caso de México, están implementándose con nuevos conceptos de tecnologías “verdes”, principios de sustentabilidad, ahorro y eficiencia energética. Los actuales estándares describen en primer lugar de una manera muy básica cómo debe construirse; algunos llegan a describir detalladamente materiales, componentes, conexiones, acabados, sistemas, métodos, configuraciones y tolerancias (Morillón, 2005). Las implementaciones descriptivas del sistema constructivo, con materiales y diseños que lo complementen. Siempre respetando la libertad al diseñador para poder crear soluciones cada vez más innovadoras.

Todo lo que tiene que ver con el ahorro de energía en las edificaciones está en la mesa de discusión; la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) cada año tiene una reunión donde se exponen las últimas investigaciones acerca del tema. Hoy día existen también programas computarizados que donde se analiza la energía desde por lo menos dos aspectos.

En cada una de las fases de desarrollo del producto *per se* se ve dónde están los derroches energéticos que pueden ser disminuidos en el proceso de manufactura; se analiza también el producto desde su perspectiva contaminante y no contaminante. (Eisenberg, 2000).

Se han desarrollado también programas que incorporan en particular una construcción, que se alimentan con datos del clima, materiales, envolvente, e incluso algunos con la posibilidad de cargar los impedimentos o acciones que imponen las normativas de regiones o naciones (Velasco, 1999).

Algunos programas gubernamentales han sido desarrollados para aplicarse en construcciones importantes; como ejemplo podemos citar el programa BREEM en Inglaterra, el BEPAC en Canadá o bien el LEEDS (Boake; 2004) en Estados Unidos (Conferencia Green Building Challenge-Vancouver; 1998).

En México hay también esfuerzos por la realización de códigos para la sustentabilidad, los desarrollados por la Semarnat, que exponen los motivos de algunas normas para energía o bien para áreas verdes. La Conavi publicó recientemente los códigos para viviendas sustentables (Hirata, 2007), entre otros.

Tecnología alternativa

La tecnología en general se define como la aplicación al proceso mediante el cual los seres humanos diseñan herramientas y máquinas para incrementar su control y comprensión del entorno material. Algunos historiadores científicos argumentan que la tecnología no es sólo una condición esencial para la civilización avanzada y muchas veces industrial, sino que también la velocidad del cambio tecnológico ha desarrollado su propio ímpetu en los últimos siglos (García, 1993). Las innovaciones parecen surgir a un ritmo que se incrementa en progresión geométrica⁵ sin tener en cuenta los límites geográficos ni los sistemas políticos. Estas innovaciones tienden a transformar los sistemas de cultura tradicionales, produciéndose con frecuencia consecuencias sociales inesperadas. Por ello, la tecnología debe concebirse como un proceso creativo y destructivo a la vez (Elías, 1998).

La tecnología alternativa es una fuente capaz de sustituir los cánones o estereotipos socialmente establecidos; no obstante, la sociedad se ve en la opción de reemplazar dichos estándares cuando producen la ruptura general del equilibrio, tanto social como ambiental (Malin, 1995), es decir, cuando la misma tecnología deja de ser eficiente y, como consecuencia, genera más gastos de los que es capaz de producir; la mira se enfoca sobre las tecnologías alternativas como la posibilidad más adecuada y menos recurrente.

Es cierto que las tecnologías alternativas surgen con base en las necesidades sociales; esas necesidades van del ahorro de energía para la reducción de su costo, al ahorro en cuestión monetaria, etc. (Félix-Díaz, 2003), pero de fondo hay mucho más, por ejemplo la elevación de la calidad de vida, la consecución de un lugar dónde vivir que, además, sea adecuado, auto-sustentable, económico, y por simple lógica, conseguir la conservación del planeta y del medio ambiente.

Si la tecnología alternativa produce ahorro en la economía, sustentabilidad al ecosistema, reducción de emisiones tóxicas al ambiente, mejoras en la

⁵ Entiéndase Progresión Geométrica, para los fines de este trabajo, como Crecimiento Multiplicador.

calidad de vida, entonces, ¿por qué no son utilizadas como la primera opción tecnológica?

Históricamente, la Revolución Industrial como proceso socioeconómico tuvo su periodo de auge en el siglo XVIII en Inglaterra, y es considerado un: “[...] proceso de evolución que conduce a una sociedad desde una economía agrícola tradicional hasta otra caracterizada por procesos de producción mecanizados para fabricar bienes a gran escala” (Thompson, citado por Rascón, 2007: 6).

La misma Revolución Industrial (RI) provocó la necesidad de saberse auto-gestionable, así comenzó la venta masiva de materiales para la construcción de viviendas; entonces, la producción mecanizada y en serie tuvo sus propias repercusiones para la conformación de las urbes de un mismo estilo, pero con la menor cantidad de eficiencia. Es decir, la RI necesitaba sostener sus propios principios y regímenes economicistas. La formación de urbes cerca de centros industriales permitía tener un mayor control sobre sus propios obreros, y al mismo tiempo las capitales se configuraban con un centro de mayor potencialidad económica y financiera (Martínez, 2000)

En la actualidad, las urbes han sufrido una serie de transformaciones en cuanto a estética se refiere; no obstante, el paradigma impuesto por esos centros o capitales sigue siendo un ejemplo a seguir por las zonas rurales de producción agrícola y de menor desarrollo (Smelser, 1997). Esa tendencia a la repetición es conocida ampliamente como *conductividad estructural*; según Smelser, ese fenómeno se produce a partir de repetir la movilización social; se dice que es conductividad en dos sentidos: 1) de *conducir* o transmitir, y la analogía usada por dicho autor es la de los metales: se aplica calor al metal y por consiguiente el metal se calienta, y 2) *Conducir* o dirigir en el sentido estricto del establecimiento de algún tipo de líder que dirija el movimiento; así, en caso de ser eliminado dicho líder, la tendencia siguiente es la eliminación del fenómeno o movimiento (*ídem*). Aunque esta teoría en especial se aplica cuando se habla de conflictos o política, resulta muy útil cuando se menciona el fenómeno específico del consumo, cuando los movimientos de masas siguen o creen seguir un paradigma socialmente establecido y funcional. En síntesis, se puede afirmar que los paradigmas dominantes son el centro de mayor atracción, y en el caso de las urbes son predominantes como un símbolo que delimita *progreso*, es por ello que se crea la necesidad social de seguir dicha tendencia hacia el urbanismo. (Martínez, 2000)

Como se señaló con antelación, los estereotipos a seguir no son siempre la mejor opción, y la mejor opción no siempre es la más recurrente. Sin embargo,

la tecnología alternativa es una fuente sistemática que permite el óptimo desarrollo humano, y es con base en ello de donde se desprende el carácter o la cualidad de bien pensado; una tecnología sumamente razonada provocará mejoras para la sociedad y para el ambiente.

Hoy en día la tecnología alternativa abarca una multiplicidad de aplicaciones prácticas, es decir, *no* se reduce a un campo disciplinar específico, esto le permite, inclusive, la conexión interdisciplinar para el arranque de proyectos que satisfagan las necesidades del ser humano (Wackernagle, 1996). Para ello, es indispensable recordar que el ser humano *no* es un agente externo del propio planeta, es y forma parte del planeta. Esta última afirmación nos permite decir que ambos son mutuamente referidos, y de ser así, el ser humano debe pensar cómo proteger su propia especie y su hábitat.

La relación del ser humano con el ambiente siempre ha sido contradictoria. Por un lado, destruyendo para sobrevivir; por otro, reproduciendo o garantizando la reproducción de seres vivos, también con el propósito de vivir mejor. La conciencia sobre esta doble necesidad siempre estuvo presente. Cualquier historia ambiental del mundo muestra que las sociedades menos desarrolladas tecnológicamente sufrieron crisis ambientales, en la mayoría de los casos por degradar recursos naturales hasta su extinción (Tommasino, 1998: 9).

No obstante, la aplicación de tecnologías alternativas no está limitada a un campo disciplinar específico, y su desarrollo forma en conjunto un sistema configurado por seis subsistemas; Agua (almacenaje, captación y tratamiento), Energía, Producción, Residuos, Consumo y suministro de alimentos, y Construcción y hábitat.

Estos subsistemas nunca pueden ser vistos por separado, pues forman parte de un todo único que debe funcionar en conjunto con todas sus partes. Un sistema que se “tropicaliza” en relación con el clima, la sociedad y los usos y costumbres. Cada tecnología debe adecuarse adaptando, perfeccionando, innovando e incluso transformándose con base en su entorno (Rapaport, 1969).

Las tecnologías alternativas no tienen una limitación disciplinar y hay algunas que se pueden aplicar desde la medicina, como la desintegración de materiales por irradiación del sol, y que son altamente tóxicas; en distintas ingenierías la eliminación del desgaste de recursos no renovables como el petróleo, la madera, etc.; en la arquitectura se puede lograr la construcción de viviendas económicas, durables, funcionales y hasta estéticas, manteniendo el equilibrio y la armonía con el medio ambiente; entonces la cualidad sumamente peculiar de las tecnologías alternativas es su carácter multidisciplinar, ya que no sólo las ciencias biológicas y las ingenierías aplicadas

están en posibilidad de desarrollar proyectos, es aquí donde las ciencias sociales y las artes del diseño desempeñan su importante papel. Debe buscarse la cooperación o el trabajo colegiado para la consecución de dichos fines.

La aplicación de tecnología alternativa es útil y para el hogar no tendría inconvenientes, así, a manera de complemento, se logrará la sustentabilidad del medio ambiente y el ser humano vivirá en armonía directa y en equilibrio con su hábitat (Olgay, 1992).

El hombre, para sus construcciones, hasta la Revolución Industrial se ha servido de los materiales que el medio le brinda, siempre en relación con la tecnología propia de cada época, no requiriendo de procesos industriales sofisticados que conllevan gastos excesivos de energía. Las tecnologías alternativas se construyen según las necesidades, por lo que las formas resultantes se mimetizan con el paisaje, logrando con ello una integración estética, con una respuesta al clima de funcionamiento excepcional (Taylor, 1983).

La conservación de los objetivos primordiales que permiten la adecuación de tecnologías alternativas se sostiene, y por ello dos objetivos principales son:

- a. Retomar los conocimientos seculares de técnicas de construcción y aplicarlas al mundo contemporáneo con las necesidades actuales y guardando los principios básicos de correlación al clima y cultura.
- b. Encontrar armonía entre los materiales de bajos o medianos costos energéticos de producción (García-López, 2000: 141).

A manera de conclusión, podría decirse que la tecnología alternativa lleva en su aplicación y entendimiento menor gasto energético que la industrializada. La integración al medio ambiente y al paisaje con materiales naturales es mayor y el impacto proporcionalmente bajo minimiza el riesgo.

Educación ambiental

Antes de exponer directamente la definición de educación ambiental, nos gustaría esbozar un concepto de lo que debería de ser la educación en general, tanto en el marco formal como en el informal. Educar lo podemos resumir como la acción y el efecto de informar y formar sobre determinados aspectos de una realidad. Informar en el sentido de proporcionar datos y valoraciones, y formar en cuanto a crear actitudes y sentimientos, destrezas y normas de conducta.

Si bien estas son definiciones, existe una teoría auténtica de lo que significa educar. “Durkheim plantea que la educación es un proceso de transición cultural (valores, conocimientos, hábitos, creencias) de la generación adulta a la generación joven, mediante el cual la sociedad misma se perpetuaba, se reproducía”. (De Alba, 1988; 4).

En el marco anterior, el solo hecho de añadir la palabra “ambiental” denota una diferencia específica con la educación para adquirir conceptos o formarse. Es un planeamiento más conceptual o definitorio; la conclusión menos arriesgada es la que considera al medio ambiente como una síntesis o interrelación de realidades y problemas que aisladamente existieron hace ya algunos lustros, pero que en la actualidad ofrecen, en conjunto, una nueva perspectiva relacionada con la calidad de la vida humana y con la escasez de recursos naturales (Goffin, 1984).

Podríamos definir educación ambiental como aquella acción o efecto de informar y formar colectividades, acerca de los diversos aspectos que contiene la conservación y la restauración del conjunto formado por los distintos elementos que constituyen el entorno de la vida humana (García-López, 1989).

El concepto de Educación ambiental ha venido transformándose y evolucionando, perfeccionándose con los aportes de científicos y expertos comprometidos con la conservación de la naturaleza, enriqueciéndose con las experiencias acumuladas por numerosas organizaciones en la Tierra y la labor de millones de activistas disgregados a lo largo y ancho del planeta, adecuándose a nuevos retos de un mundo cambiante.

En 1948, durante la celebración del Congreso Constitutivo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) realizado en Fontainebleau, Francia, se hizo referencia por primera vez a la educación ambiental descrita, en los siguientes términos:⁶ “...es un enfoque educativo de la síntesis entre las ciencias naturales y las ciencias sociales”.

Más tarde, en 1970, durante un congreso efectuado en Washington, Estados Unidos, los ambientalistas se refirieron a la educación ambiental de la siguiente forma: “... es un proceso educativo que se ocupa de la relación del hombre (y de la mujer) con su entorno natural y artificial, incluyendo la relación de la población, la contaminación, la distribución y el agotamiento de los recursos, la conservación, el transporte, la tecnología y la planificación rural y urbana con el medio humano total”.

⁶ Todas las citas que se muestran a continuación, en este apartado, fueron tomadas de: Comisión Ambiental Metropolitana, 2000.

También, en 1970, algunos especialistas que participaban en una reunión de trabajo convocada por la UNESCO y la UICN, para analizar la incorporación de la educación ambiental a los planteles escolares, la definieron de la manera siguiente:

... es un proceso que consiste en reconocer valores y aclarar conceptos con el objetivo de fomentar las destrezas y actitudes necesarias para comprender y apreciar las interrelaciones entre el hombre (y la mujer), su cultura y su medio biofísico. Entraña también la práctica en la toma de decisiones y en la propia elaboración de un código de comportamiento relacionado con la calidad del entorno inmediato al ciudadano.

En 1972, los participantes en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, realizada en Estocolmo, Suecia, abordaron a la educación ambiental en estos términos:

Es indispensable una labor de educación en cuestiones ambientales, dirigida tanto a las generaciones jóvenes como a los adultos y que preste la debida atención al sector de la población menos privilegiada, para ensanchar las bases de una opinión pública bien informada y de una conducta de los individuos, de las empresas y de las colectividades, inspirada en el sentido de responsabilidad en cuanto a la protección del medio en toda su dimensión humana. Es también esencial que los medios de comunicación de masas eviten contribuir al deterioro del medio humano y difundan, por el contrario, información de carácter educativo sobre la necesidad de protegerlo y mejorarlo, a fin de que el hombre pueda desarrollarse en todos los aspectos.

En el Seminario Internacional de Educación Ambiental realizado en Belgrado (antigua Yugoslavia) en 1975, y en la Conferencia Intergubernamental de Educación Ambiental efectuada dos años después en Tbilisi (república de Georgia, de la otrora Unión Soviética), para dar continuidad a la primera, representantes de 60 naciones unificaron criterios en torno a una definición de la educación ambiental, de sus fines, objetivos y metas fundamentales. Así, los delegados de los dos eventos internacionales antes referidos ratificaron la siguiente definición de educación ambiental:

Educación ambiental es un proceso dirigido a desarrollar una población mundial que está consciente de, y preocupado por el ambiente en su totalidad y los problemas asociados, la cual tiene el conocimiento, actitudes, habilidades, motivación y compromiso para trabajar individual y colectivamente hacia la solución de actuales y la prevención de nuevos problemas.

La educación ambiental debe cumplir con la función de aproximar a los individuos a la comprensión de las interdependencias económicas, políticas y ecológicas

del mundo moderno y a la relación entre medio ambiente y desarrollo. Se considera como un objetivo fundamental, lograr que los individuos y las colectividades comprendan la naturaleza compleja del medio ambiente natural y el creado por el hombre (y la mujer), resultante de la interacción de sus aspectos biológicos, físicos, sociales, económicos y culturales y adquieran los conocimientos, los valores, los comportamientos y las habilidades prácticas para participar responsable y eficazmente en la prevención y solución de los problemas ambientales y en la gestión de la calidad del medio ambiente.

Al año siguiente, 1976, se celebró en Chosica, Perú, el Taller subregional de Educación Ambiental para la Enseñanza Secundaria, con la participación de 40 representantes. En Chosica se sostuvo que:

[...] si bien la educación no es gestora de los procesos de cambio social, cumple un papel importante como agente fortalecedor y acelerador de dichos procesos transformadores, [...] definió la educación ambiental como la acción educativa permanente por la cual la comunidad educativa tiende a la toma de conciencia de su realidad global, del tipo de relaciones que los hombres establecen entre sí y con la naturaleza, de los problemas derivados de dichas relaciones y sus causas profundas. Ella desarrolla mediante una práctica que vincula al educando con la comunidad, valores y actitudes que promueven un comportamiento dirigido hacia la transformación superadora de esa realidad, tanto en sus aspectos naturales como sociales, desarrollando en el educando las habilidades y aptitudes necesarias para dicha transformación ...

Diez años después de la Conferencia de Tbilisi,⁷ en 1987, los participantes en el Congreso Internacional sobre Educación y Formación Ambiental celebrado en Moscú coincidieron en una definición muy similar y complementaria a la anterior:

“La educación ambiental se concibe como un proceso permanente en el que los individuos y la colectividad cobran conciencia de su medio y adquieren los conocimientos, los valores, las competencias, la experiencia y la voluntad capaces de hacerlos actuar individual y colectivamente, para resolver los problemas actuales y futuros del medio ambiente”.

Más recientemente, en el marco de la celebración de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, en 1992, las organizaciones no gubernamentales participantes emitieron el Tratado de las ONG sobre Educación Ambiental, en el que se abordan aspectos conceptuales

⁷. Ha sido el evento internacional sobre Educación Ambiental más importante y parteaguas de éste concepto.

de la educación ambiental, consultados en su momento con más de 5 000 organizaciones involucradas al respecto, manifestándose de esta manera:

La educación ambiental para una sociedad sostenible y equitativa es un proceso de aprendizaje permanente, basado en el respeto por todas las formas de vida. Es una educación que afirma valores y acciones, que contribuyen con la malformación humana y social y con la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente.

Debe estimular la formación de sociedades socialmente justas y ecológicamente equilibradas que conserven entre sí una relación de interdependencia y diversidad.

La educación ambiental, en el contexto del desarrollo sostenible, debe generar con urgencia cambios en la calidad de vida y mayor conciencia en la conducta personal, así como armonía entre los seres humanos y de éstos con otras formas de vida.

Los acuerdos de Tbilisi fueron revisados veinte años después, en el Primer Congreso Iberoamericano de Educación Ambiental realizado en Guadalajara, México, en la llamada década mundial para la educación ambiental. En 1992 también se llevó a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro —La Cumbre de Río— y el Foro Global donde se elaboró un plan de acción denominado Agenda 21, donde los jefes de gobierno se comprometieron a tomar medidas para hacer frente a los temas; dice en su capítulo 36:

Educación, Capacitación y sensibilización pública se manifiesta que las naciones deben:

- Garantizar una educación para el medio ambiente y el desarrollo, a todas las personas cualquiera que sea su edad.
- Desarrollar los conceptos sobre medio ambiente y desarrollo, en todos los programas educativos, analizando los problemas y sus causas
- Asignar especial atención a la capacitación de tomadores de decisiones.
- Involucrar a los niños en los estudios relacionados con la salud del medio ambiente, en los ámbitos locales y regionales, incluyendo el cuidado del agua potable, el saneamiento, la alimentación y los impactos económicos y ambientales de los recursos utilizados”.

En el Foro Global se suscribió el Tratado de Educación Ambiental para Sociedades Sustentables y Responsabilidad Global, que pretende tener peso

internacional en la conducción de políticas y posee un alto contenido social desde su elaboración.

En 1995, la OCDE menciona que en un estudio realizado a seis países miembros se encontró que la educación ambiental sigue siendo un asunto marginal y aislado al interior de los sistemas escolares. por lo que “[...] es menester crear un soporte conceptual innovador que domine la complejidad inherente y multidisciplinaria de la temática ambiental” (OCDE, 1995: 194).

Podemos resumir las realidades latinoamericanas en tres grandes apartados:

- a. Concebimos el campo del ambientalismo en general y de la educación ambiental en particular como parte de un campo de lucha política más amplia, en donde es de primer orden enarbolar la calidad del ambiente y el aprovechamiento de los recursos naturales en beneficio de las poblaciones locales.
- b. Recuperar el saber tradicional y popular y el valor de la comunidad como un punto de partida en la formulación de sus propuestas pedagógicas para proyectar desde ahí la construcción de otros conocimientos que doten de mejores instrumentos intelectuales para moverse en el mundo.
- c. Considera que las condiciones de posibilidad de una educación para nuestros tiempos, incluida la educación ambiental, residen en la construcción de propuestas abiertas, fracturadas, que no pretendan constituirse en universales.

En México, a partir de los años setenta se empieza a reconocer la necesidad de desarrollar programas educativos para revertir los procesos de deterioro ambiental evidentes (IAIE, 1982). Se elabora la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 28 de enero de 1988, donde se obliga al Ejecutivo a desarrollar programas educativos e informativos acerca del medio ambiente.

En la década de los ochenta se crea la primera Dirección de Educación Ambiental dependiente de la entonces Sedue, en que se decreta que la SEP debe brindar instrucción para tomar medidas encaminadas hacia una pedagogía nacional desde la educación básica.

En 1999 se crea la Dirección General de Educación Ambiental, donde se elaboraron el diagnóstico y la investigación acerca del estado que guardaba la educación y los textos en el tema ambiental, así como reconocer su trascendencia en cuanto a buscar y construir alternativas pedagógicas para mejorar la calidad de nuestro entorno; establece dos acciones como las

más importantes: 1) La revisión de los planes de estudio de las licenciaturas correspondientes, actividad que no sólo permitió incorporar contenidos ambientales a diversos programas curriculares, sino incluir como materia obligatoria de la Normal, Ecología y Educación Ambiental (Sedue, 1990), y 2) La capacitación al magisterio nacional en servicio puso en marcha a partir de 1987 un programa dirigido a sensibilizar a los maestros de preescolar y primaria (Sedue, 1991).

Si bien lo anterior ha conformado una serie de esfuerzos desde la denominada educación formal,⁸ también desde la visión no formal la educación ambiental en México ha sido promovida por el sector medio ambientalista, muchas ONG y otros grupos organizados, como fundaciones y demás, con el objetivo de proteger la ecología, trabajar por la sustentabilidad y tener un México “verde” desde varios aspectos.

Conviene apresurarse a decir que la sustentabilidad no debe ser una asignatura autónoma debido a su carácter interdisciplinario y sí un objetivo de colaboración para las diversas disciplinas tradicionales.

Retomando la conferencia de Tbilisi:

Es evidente que esta educación no representa un añadido a los programas educativos como si se tratara de una disciplina aislada o una materia particular de estudio, como son las matemáticas, la física o la biología-, sino que es una dimensión que debe integrarse en los programas. La educación ambiental es el resultado de una re-orientación y articulación de las diversas disciplinas y experiencias educativas —ciencias naturales, ciencias sociales artes y letras— que facilita la percepción integrada del medio ambiente, haciendo posible una acción más racional y capaz de responder a las necesidades sociales (Tbilisi, 1997: 20).

Se trata pues de incluir la perspectiva ambiental en gran parte de, si no es que en todas, las áreas científicas que se enseñan: geografía, ciencias naturales, química, física, etc. Se busca una sensibilización desarrollando el espíritu de observación y de análisis en lo relativo a la sustentabilidad, meta a la que también contribuirán una serie de actividades a desarrollar en el propio centro educativo, en la localidad o en lugares más alejados, en ambientes cerrados o abiertos.

⁸ Cuando se habla de *educación formal* se hace referencia a aquella educación de transmisión directa, de carácter consciente y con objetivos específicos muy bien definidos; dicho conocimiento se evalúa y se otorgan diplomas o certificaciones al hecho; en *educación no formal*, cabe la posibilidad de contar con los objetivos específicos y el mismo carácter consciente, pero sin el recibimiento de una certificación formal; la *educación informal*, será aquella que sea transmitida sin contar con objetivos centrados en el tema, es decir aquella que por su impacto se logre, pero no como objetivo central.

Hace veinte años Figueroa (1992) comentaba que alguien debía hacer la educación ambiental, esa era la idea. Ésta se convirtió en una necesidad común y en preocupación gubernamental y de grupos civiles; la respuesta desde lo denominado educación no formal no se dejó esperar. Hay un importante conjunto de medios educativos extra-sistemáticos que son los medios de comunicación de masas, las organizaciones ecologistas y medioambientales y otras organizaciones públicas y privadas.

La educación ambiental informal presenta una diversidad tan amplia que es difícil jerarquizar en orden de importancia las áreas que la conforman. Se constituye por actividades muy dispersas y con una gran variedad de enfoques y propósitos. Esto deriva en complicaciones para el establecimiento de prioridades.

Dentro de las experiencias revisadas, las que se muestran mejores y más consistentes sus resultados son aquellas donde las acciones de educación —sensibilización, capacitación, etc.— se producen en relación con problemas locales concretos. Esto asigna un significado diferente a la información, a la participación y a la promoción, puesto que ya no se trabaja en torno a necesidades en abstracto. Este tipo de proyectos o programas muchas veces no son específicamente ambientales o ecológicos, más bien son de producción o promoción; sin embargo, contienen en sí mismos importantes elementos educativos, los cuales resulta relativamente sencillo enriquecerlos con el componente ambiental.

Dentro de la educación ambiental informal, un aspecto prioritario es la acción informativa y, en ocasiones, directamente formativa de la prensa, la radio, la televisión, el cine y los demás medios de comunicación de masas que no pueden desdeñarse completamente. Estos medios tienden a proporcionar un enfoque más integral a los problemas ambientales y a apoyar los esfuerzos de los campos formal y no formal, además de promover campañas con alguna causa específica.

Desde estas campañas publicitarias hasta programas científicos, pasando por noticias y el posterior tratamiento de las mismas, pueden ser enormemente eficaces en la concienciación de la educación ambiental en grandes sectores de la población.

Si bien estos proyectos se requieren tanto en el ámbito urbano como en el rural, en este último es más necesario el alcance, ya que en las ciudades concurre un mayor número de factores que hacen posible la comunicación.

Es deseable en estos proyectos superar el nivel de denuncia que distingue a muchos medios de carácter local y regional, así como los enfoques

catastrofistas o amarillistas que en poco contribuyen a la formación de una cultura ambiental. Hay que reconocer que un creciente número de periodistas y comunicadores se interesa cada vez más en la temática medio ambiental y no todos cumplen con los enfoques descritos.

Para concluir, la Educación ambiental debe entenderse como un proceso de aprendizaje que debe facilitar a todos los individuos la comprensión de la realidad de su entorno desde el aspecto biológico, pero también, en su proceso socio-histórico que ha conducido a la realidad que se tiene, resulta clave para comprender las relaciones existentes entre los sistemas naturales y sociales (Martínez, 2001: 54). El propósito debe ser que cada persona posea la adecuada conciencia e independencia de pensamiento y pertenencia a su lugar, que se sienta responsable de su uso, mantenimiento y conservación para que permita mejorar la calidad de vida.

La educación ambiental tendrá como propósito mejorar la calidad de vida de la población mediante un desarrollo sustentable en armonía con la naturaleza; hay que entenderla como la adquisición de la conciencia, los valores y los comportamientos que favorezcan la participación efectiva de la población y debe ser un factor estratégico que incida en el modelo de desarrollo establecido para reorientarlo hacia la sostenibilidad y la equidad.

La educación ambiental constituye una herramienta que persigue mejorar las relaciones del hombre con su entorno por medio del conocimiento, la sensibilización, la promoción de estilos de vida y comportamientos favorables al medio ambiente (Martínez, 2001).

Bibliografía

Agenda 21 (2005), Cumbre de Río 1992. Disponible en www.unesco.org/pnuma/Agenda 21.

Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) (2000), Programa Rector Metropolitano Integral de Educación Ambiental, Semarnat.

Comisión de la Carta de la Tierra (CCT), "La iniciativa de la Carta de la Tierra", Sitio web Comisión de la Carta de la Tierra. Disponible en <http://www.cartadelatierra.org/>

Clarke, G. L. (2006), *Elementos de Ecología*, Barcelona, Ediciones Omega, 1976.

- Cruz Rodríguez, María Soledad, "*Territorio e identidad*", UAM-A.
- De Alba, Alicia, E. González y S. Morelos (1988), *La educación ambiental en México*.
- Declaración de la Reunión para la Educación Ambiental Tbilisi: (The Tbilisi Declaration Intergovernmental Conference on Environmental Education), octubre de 1977.
- Declaración de Río. Report of the United Nations Conference on Environment and Development, Río de Janeiro, 3-14 de junio de 1992), y Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, Agenda 21.
- Duvigneaud P. (1979), *La synthese ecológique* (Introducción a la Ecología), París: Pascal Acot.
- Eisenberg, D. (2000), *A new context for building codes and regulations*, John Wiley & Sons.
- Elías, N. (1998), *El proceso de la civilización*, México, Amorrortu.
- Félix-Díaz, J. I. (2003), *Ecología Urbana, Hacia una estrategia global del manejo y control de los residuos sólidos en el área metropolitana de la Ciudad de México*, México, cuadernos, UAM.
- Figuroa Hernández, A. (1992), *Análisis macro-microsocial de la educación como preámbulo al entendimiento parcial de la Educación Ambiental*, noviembre.
- FUL (1984), *Investigación sobre el medio ambiente*, Luxemburgo, Bélgica, Fundación Universitaria.
- García López, E. (2000), "La conceptualización del Medio Ambiente", *Arquitectura Bioclimática y Energía Solar*, Mexico, UAM-Azcapotzalco.
- Goffin, L. (1984), *Stratégie mondiale de la conservation*, Bélgica, Environnement Wallon.
- González, Gaudiano, E. (1994). "La educación ambiental. Elementos generales para la definición de enfoques integrados en la educación básica", *Necesidades educativas básicas de los adultos*, México, Instituto Nacional para la Educación de los Adultos.

- Hart, S. (2003), "Imagining the future", *Architectural Record*; supl., vol. 191, núm. 10, p. 30, octubre.
- Hirata N. E. (2007), *Códigos de Edificación para la Ciudad de México*, México, Conavi.
- IAIE (1982), *Necesario reformular la educación ambiental*, México, Instituto Autónomo de Investigaciones Ecológicas.
- Informe Bruntland de la Conferencia sobre Medio Ambiente en Estocolmo (1972), *Nuestro Futuro Común*.
- Martínez, J. F. (2001), "Fundamentos de la Educación ambiental", 22 de junio. Disponible en <http://www.Jmarcano.com/educa/curso/fund2.html>. Último acceso, 21 de enero de 2016.
- Martínez, M. L. (2000), *Poblamiento, arquitectura y ornamentación en Comalcalco*. Tabasco.
- Mormont, M. (1987), *La sociología del medio ambiente*, Bélgica, Université de Lovaine.
- Nieto-Caraveo, L. M. (2001), "¿Para qué necesitamos un plan? La educación ambiental en SLP", San Luis Potosí, México, publicado en *Pulso. Diario de San Luis*, sección Ideas, p. 4a del jueves 27 de septiembre.
- Olgay, V. y J. Herdt, (2004), "The application of ecosystems services criteria for green building assessment", *Solar Energy*, vol. 77, núm 4, p. 389, octubre.
- OCDE, *Las migraciones*, París, 81 p. Citado en *La Jornada*, suplemento mundial.
- ONU (1992), *Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Educación Ambiental*.
- ONU-CDS (1992), Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Río de Janeiro.
- ONU-CDS (2002), Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo, Sudáfrica, 26 de agosto-4 de septiembre.

- Pérez Porto, J. y A. Gardey (2013), "Definicion.de. *Que es, significado y concepto: Definición de resiliencia*. Disponible en <http://definicion.de/resiliencia/#ixzz4CpAFkxb3>. Último acceso, 21 de enero de 2016.
- Rapaport, A. (1969), *House form and culture*, Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- Rascón, M. (2004), *La educación superior en México: el periodo de transición de Vicente Fox*, México, Cámara de Diputados.
- Salas Espíndola, H. (2006), *El impacto social del ser humano en el planeta*, México, Edamex.
- Sedue (1989; 1990; 1991), Serie Educación Ambiental.
- Sedue (1990), *Prácticas de educación ambiental para la enseñanza secundaria*, La basura, México.
- Shu-Yang, F., B. Freedman y R. Cote, (2004), "Principles and practice of ecological design", *Environmental Reviews*, vol. 12, núm 2, pp 97-113, junio.
- Smelser, N. (1997), *Teoría de la conducta colectiva*, México, Alianza.
- Tommasino y Foladori (2001), *El enfoque técnico y el enfoque social de la sustentabilidad*, *Revista Paranaense de Desenvolvimento*. Curitiba, Paraná, Iparde, núm. 98.
- Taylor, J. (1983), *Arquitectura anónima*, Barcelona, Stylos.
- UNESCO (2005), "Manifiesto por la educación ambiental", Reunión Internacional de Medio Ambiente, Río de Janeiro, junio.
- Vaupel, J y J. Oeppen (2002), *Sin límite natural para la esperanza de vida*, Duke University y Cambridge University Press.
- Velasco Montiel, F. y R. Dorantes Rodríguez, (1999), "Análisis Experimental de dos Programas de Simulación Térmica de Edificios: TRNSYS y DOE-2", Memorias de la XXIII Semana Nacional de Energía Solar, Morelia, Michoacán, Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), pp 69-75.
- Wackernagle, M. y W. Rees, (1996), *Our ecological footprint*, Estados Unidos, New Society Publishers.

Weitzenfeld, H. (1996), Manual básico sobre evaluación del impacto en el ambiente y la salud de acciones proyectadas, México, Centro Panamericano de Ecología y Salud.

Todos somos naturaleza

Nemesio Chávez Arredondo

*“¿Qué recordará de mí la última persona que me recuerde?”
José Chipahua*

El tamaño del tiempo

Detengámonos un instante a sentir el tiempo, ese aparente no fluir que siempre pasa. Nuestra existencia individual es muy breve, cada uno de nosotros podría vivir cuando mucho un siglo (una dosmilésima parte de la historia de la especie), y nuestros recuerdos abarcan un suspiro progresivamente menor comparado con la evolución de la vida, la formación del planeta o el origen del universo. Cada historia humana dura un pestañeo, y ocurre en una exacta coordenada espaciotemporal de la historia del cosmos. Imposible sentir y difícil imaginar (sino metafóricamente) las dimensiones de tiempo que implica la evolución del universo, comenzado hace 15 000 millones de años en una gran explosión cuyo oleaje y movimiento constituyen aún el marco de nuestra existencia.

Desde que se formó el planeta Tierra, hace unos 4 500 millones de años, ha habido tiempo suficiente para que ocurrieran todo tipo de grandes acontecimientos que lo transformaron profundamente en incontables ocasiones. Cuando terminaron de conjuntarse las partes que se fueron agregando para conformar este mundo, el panorama debió ser un infierno de materiales incandescentes. Desde entonces, los materiales han ido enfriándose poco a poco, sin que hayan terminado de hacerlo; en su interior la Tierra es aún muy caliente y lo hace saber a cada momento.

La atmósfera primitiva sufrió cambios radicales en la mezcla de gases que la componían, hasta convertirse en la actual atmósfera con una quinta parte de oxígeno, ingrediente imprescindible al que la vida se ha adaptado muy bien. Hubo una larga época, de unos mil millones de años, en que ni existió

la vida. Era aquel un mundo completamente desnudo de vida, donde los compuestos y elementos aún no se habían organizado en estructuras y mecanismos que permitieran la manifestación del fenómeno vivo.

Y luego hubo suficiente tiempo para que la vida juntara sus partes, sus relaciones y sus condiciones, y surgiera hace aproximadamente 3 500 millones de años partiendo de la materia y la energía circundante. Y una vez más todo cambió: la irrupción y proliferación de la vida primordial se sumó a los actores del paisaje y se inició el diálogo entre lo viviente y lo inerte; la naturaleza se hizo más compleja y aparecieron los ecosistemas.

En la inmensidad de 3 500 millones de años que han transcurrido desde su origen, la vida nunca ha dejado de presentar constantemente nuevas opciones y formas que se han desarrollado, adaptado y desaparecido en íntimo concierto con los rasgos de un paisaje que cambia sin freno y del que ellas forman parte. Desde lo microscópico, relativamente simple y unicelular (como las bacterias), los sistemas biológicos desarrollaron lo multicelular, macroscópico y más complejo (como los mamíferos), así fueron apareciendo muy variados organismos en las distintas épocas. Sabemos eso por los restos y huellas que han dejado en las distintas capas de la Tierra. De esta manera han podido reconstruirse algunas piezas y visualizar en algo el vasto rompecabezas de la historia de la vida.

Ha pasado tanto tiempo desde que surgió la vida que incluso, por distintas razones cada vez, ésta ha experimentado al menos cinco extinciones masivas (y quizá estamos viviendo y siendo protagonistas del curso de la sexta). La mayoría de las especies que alguna vez habitaron el planeta en las distintas épocas se extinguieron para siempre. Las especies de hoy son apenas una pequeña fracción de todas las que han existido desde que la vida se originó. En la más famosa de las extinciones terminó el largo reinado de 160 millones de años de las bestias más asombrosas y legendarias de la historia: los dinosaurios. La vida ha estado en ocasiones cerca de desaparecer, pero desplegando su estrategia de adaptación ha vuelto siempre a encontrar caminos. Lo que no quiere decir que en algún futuro inaprensible no desaparezca del todo al convertirse el planeta primero en un desierto, para luego ser destruido al calor de la agonía de su estrella.

El tiempo de la especie

Todos los seres humanos pertenecemos a una misma especie (animales diurnos cambiables por la educación y el clima, definidos científicamente así en 1775) cuyo nombre oficial es *Homo sapiens*, “el hombre que sabe” (aunque

parece claro que nuestros parientes del mismo género, todos ellos extintos, también “sabían”).

Somos una especie relativamente joven que surgió en una época muy reciente de la evolución de la vida (apenas su última veintemilésima parte). Hace unos 200 mil años (una fecha muy próxima comparada con los abismos de tiempo que hemos mencionado) apareció —como parte de la evolución del género *Homo*, originado hace un par de millones de años como consecuencia a su vez de la evolución de los homínidos, surgidos hace siete millones de años, y así sucesivamente en la secuencia de formas de vida que nos trajo hasta acá desde el origen de la vida— una especie cuyos individuos son capaces de entender cómo funciona su entorno, de transformar tal entorno y de aprender y enseñar a sus descendientes todo ese conocimiento.

Cada generación humana produce conocimientos nuevos, por lo que las subsecuentes generaciones son diferentes en cuanto a los conocimientos que poseen y a cómo los usan para adaptarse. Todas las otras especies no dejan de comportarse igual generación tras generación; nosotros hemos desarrollado rápida y crecientemente habilidades nuevas.

Comparadas con las nuestras, las diferencias en el modo de proceder de los individuos de otras especies son mínimas. Al menos desde que las conocemos y desde que aprendimos a conocer también sus fósiles, los animales y las plantas, del tamaño que sean, han seguido en su momento siendo eso, animales y plantas, sin posibilidad de aprender o ser mucho más, y atadas a su naturaleza repetitiva. Los individuos humanos somos capaces de producir y transmitir muchos tipos de conocimientos. Así la especie se distingue del resto.

Este comportamiento de la especie humana tiene que ver directamente con el desarrollo de su sistema nervioso (el número de neuronas y la cantidad de enlaces que se establecen entre ellas). La expansión de la base física de la red neuronal permitió que se establecieran más funciones y más elaboradas. De hecho, la tendencia tecnológica de aumentar los espacios de memoria y la velocidad con que se moviliza la información almacenada (vía algoritmos y toda clase de aplicaciones) es reflejo fiel de la proclividad humana a crear a imagen y semejanza. Y entonces hubo espacio para mayores sutilezas, el pensamiento más complejo, creativo y alto, hasta para el bien y el mal. Este nivel de complejidad permite el autorreconocimiento de los individuos; los seres humanos somos conscientes uno a uno de nuestra propia y peculiar existencia. Desde este punto de enfoque, cada uno de nosotros representa algo así como un centro de universo donde todos los demás forman parte de lo otro.

No sólo hacemos las cosas muy diferentes a como las hacen otras especies, también las hacemos muy diferentes de persona a persona. Nuestras capacidades exclusivas y singularidades individuales se manifiestan incluso en idiosincrasias tales que, haciendo una simplificación, existen dos tipos de integrantes de la especie humana: quienes consideran el ambiente como un respetable cómplice con el cual convivir, y quienes lo miran como mera fuente de recursos a ser utilizados. Animales de costumbres somos los seres humanos, cada cual con sus saberes y creencias, con sus estilos y manías.

La pregunta ineludible es ¿cuál es mi postura? Por supuesto la respuesta tiene un componente teórico-ideológico (lo que pienso y lo que digo), pero además tiene que ver con lo práctico: el comercio real, el intercambio cotidiano que sostengo con el ambiente (lo que hago).

La expansión de los humanos

Todo comenzó en África hace unos 200 mil años; el amplio ramaje del árbol de la humanidad tiene su raíz en esas tierras. Desde ahí, al paso de los milenios nuestros antepasados fueron multiplicándose, desplazándose, adaptándose y colonizando todos los continentes y cada uno de sus ambientes y rincones: Europa, Asia, Oceanía, América, hasta un poco la Antártida y también, aunque no de manera muy permanente, el espacio cercano y la Luna (y luego vendrá Marte).

Dejó de haber un nicho específico para este grupo animal en irrefrenable movimiento y cada rincón del paisaje fue alcanzado e inspeccionado en una constante búsqueda de recursos para sobrevivir. La mayor parte de su historia, digamos más de 90%, nuestra especie vivió de cazar y recolectar otras especies (animales y plantas muy variados, merced a nuestro proceder omnívoro), es decir la toma directa de recursos naturales. Esto ya tenía impacto sobre el ambiente pues implicaba extinciones locales y selecciones artificiales de especies, y con ello, los primeros ecosistemas modificados por nosotros. En su tránsito por el mundo como cazadores y recolectores, los humanos llevaban ya un cierto control de la energía con el uso del fuego, y esto también tuvo efecto en el ambiente.

Las cosas volvieron a cambiar drásticamente cuando, hace quizá poco más de 10 mil años, surgieron la agricultura y la domesticación (el cultivo de seres vivos en lugar de sólo cazarlos o recolectarlos), es decir, el control y manejo discrecional de la producción de varias especies por una especie predominante. Hoy podemos crear legiones de pequeños reactores vivos con fines alimenticios, farmacéuticos o industriales claramente determinados.

La producción a través del cultivo de seres vivos permitió alimentar más bocas y entonces la población humana pudo crecer más allá de los límites que hasta ese momento había impuesto el ambiente. También obtuvo más tiempo para dejar libre el pensamiento, para ensayar y errar cuidadosamente realizaciones, para construir estructuras sociales variadas y complejas. Atarse al lugar para hacer producir la tierra y criar animales detonó el sedentarismo, y ahí se iniciaron propiamente los asentamientos que evolucionaron en nuestras actuales ciudades.

El efecto disperso que había tenido la actividad de los primeros tomadores directos de recursos naturales se concentró y se tornó avasallador al adoptarse el cultivo de especies vegetales y animales. Hoy gran parte de la piel de nuestro mundo ha sido transformada para cultivar pocas especies, pero en gran número (siempre insuficiente). Con estas acciones, en diez milenios logramos alterar el ecosistema planetario en su conjunto y reducir drásticamente la variedad de la dieta que practicaron los cazadores y recolectores.

Pero nuestra presencia ha dejado una marca aún más indeleble a partir de la Revolución Industrial y el uso de combustibles fósiles para producir desmesuradas, crecientes y desperdiciadas cantidades de energía. Y así siguió aumentando, avanzando y concentrándose la presencia de la vida humana sobre el resto de formas de vida y el ecosistema entero, convertido en mera fuente de recursos. Hoy una fila de todos los humanos con los brazos extendidos tocándose las puntas de los dedos daría 300 vueltas a la Tierra.

El breve universo que somos

Cada ser humano, y cada sistema vivo, se forman de las materias primas presentes en el universo. Los elementos que lo construyen han estado dispersos por ahí en formas elementales o moleculares, hasta estructurarse y organizarse. El tiempo que dura la vida es un proceso constante de intercambio de materia y energía que sirve para mantener la integridad del sistema. A través de cada ser vivo fluyen continuamente los materiales y la energía de su entorno. Desde el punto de vista estricto de la materia que nos compone, nunca somos la misma cosa. Mientras algo de materiales nuevos entra, algo sale. Respirar, por ejemplo, es procesar con ansia el oxígeno en un roce constante y vital de nuestros tejidos internos con la atmósfera que nos rodea.

A lo largo de la vida, la estructura se desgasta por un lado y se renueva por el otro, hasta que llega un momento para cada individuo en que los procesos

completan su ciclo, se deja de reparar y construir, la organización se desarticula y decae hasta desintegrarse como sistema y reintegrarse luego a alguna de las rutas de tránsito de los materiales en el ambiente. El esfuerzo por mantener el sistema cesa y se revierte el caos original de materias primas libres unas de otras.

La naturaleza es nuestro semejante. Los diferentes animales estamos conformados por un conjunto común de proteínas constructoras muy similares y funcionalmente indistinguibles. Somos diferentes no porque tengamos genes diferentes (tenemos grupos de genes muy similares), sino porque el nivel de expresión de los genes, el cómo y el dónde se usan, es distinto en cada caso.

Cada uno somos un ecosistema, albergamos por dentro y por fuera microscópicos seres de varios reinos, más numerosos que todas las células que nos componen. Nuestra vida individual es un conjunto equilibrado de organismos, un mosaico de vidas, todas las cuales hacen falta para sobrevivir. A veces la enfermedad es desequilibrio o enfrentamiento entre los seres que habitan el territorio de nuestro cuerpo.

La vida se alimenta de la vida. Somos paisajes químicos que requieren nutrirse sin cesar y que difieren a cada momento del día y de la existencia. Nuestro ser y sentir estará también determinado por la precisa composición cambiante que nos constituye, la mezcla exacta en el caldero interior.

Cuando un organismo comienza a ser, como resultado de la interacción de los procesos de otros seres vivos, conforma un sistema que intercambiará permanentemente con el medio en que se encuentre (intrauterino o extrauterino) materia y energía mientras el sistema permanezca funcionando y se mantenga vivo. En la vida de cada ser, el universo invierte energía para construir la estructura compleja y ordenada de lo vivo, a costa de esto aumenta la entropía del universo.

Lo que nos hace humanos

Cada uno de nosotros (tú lector, también) empezó a existir hace apenas unos años. Antes de eso, los componentes que contribuyeron al origen de nuestra estructura, y los que han participado desde entonces en nuestra transformación constante, estaban ya en el ambiente, como resultado a su vez de procesos cósmicos, aún más inimaginablemente profundos en el tiempo, donde se formaron las partes más pequeñas y elementales de nuestros componentes.

Somos la única especie viva del género Homo, nuestros más viejos antepasados llegaron a compartir tiempo e incluso espacio con otras especies del género como los neandertales, que se extinguieron hace 45 mil años, o los floriensis, que desaparecieron hace apenas 12 mil años. La mayor parte del tiempo desde la formación del planeta, e incluido el posterior surgimiento de la vida en él, transcurrió sin la especie humana, sin que nadie se percatara de ello.

Uno mismo es un sistema de comportamiento repetitivo, que se despierta cada mañana y transcurre cíclicamente las siguientes 24 horas, y luego las siguientes, y así sucesivamente, interactuando con distintas partes de un sistema aún mayor en el que se halla embebido y el cual también tiene comportamientos cíclicos. Uno forma parte del entorno, y para cada individuo todos los demás forman parte del entorno; uno es parte del entorno de cada uno de los demás. Cada uno fluye en su ambiente de manera distinta a los demás. Y aunque el efecto sumado de los individuos sobre el ambiente se vea como una totalidad, cada individuo aportará cifras diferentes al juego.

¿Qué implica mantener en funcionamiento estructurado el concierto de fenómenos que cada quién es y que permiten incluso el raro privilegio de percibirse vivo? “Soy parte de la naturaleza y todos mis actos forman parte de la naturaleza, actúan sobre ella y sobre mí en ella ¿Cuánto le cuesta al universo cada día?”. Para saberlo bastaría empezar por observar detenidamente y anotar con detalle un par de días de la vida de uno mismo y así dar cuenta de las peculiaridades del devenir cotidiano propio: ¿cómo uno se relaciona con el ambiente a cada paso?

A diferencia de otras especies, los humanos como individuos podemos ser muy diferentes en la forma como nos relacionamos en términos energéticos con nuestro universo. Claro que esto es un ingrediente que termina redundando en una amplia gama de niveles de vivir que conllevan a una profunda desigualdad: la minoría (de individuos de nuestra especie, a diferencia de las otras) vive con mucho más de lo necesario y la mayoría con menos de ello.

El comportamiento que despliega cada humano es en mucho resultado de la formación que recibe, de lo que se le enseña desde la infancia en los ámbitos familiar y escolar. Y llegados a cierta edad (de hecho ya la de cualquier lector de estas líneas), la casi totalidad de nuestros hábitos y costumbres ya no cambiarán (en todo caso se acentuarán), y son tan automáticos que los pasamos desapercibidos.

Casi todo lo que hacemos termina teniendo repercusiones ambientales. ¿Qué tanto, uno a uno nuestros (mis) actos cotidianos tocan o afectan el

entorno próximo y distante? Si terminamos enseñando lo que aprendimos, es decir lo que nos enseñaron, una manera de romper este circuito cerrado desde lo individual es plantearse la siguiente pregunta: ¿Cuál o cuáles de mis hábitos decido modificar consciente e insistentemente desde este momento que estoy leyendo, para que en el momento que me toque ser responsable de la formación de alguien, ese alguien, de sólo mirar mi proceder, aprenda inconscientemente ese nuevo rasgo de comportamiento, que absorba ese saber por el sólo hecho de convivir conmigo?

La respuesta no es sencilla, y por supuesto implica un ejercicio de análisis y reconocimiento individual cuyos resultados serán diferentes en cada caso. Lo que no puede pasar es que el individuo se oculte tras el grito quejumbroso de la masa. Lo que no puede pasar es que la pregunta quede sin respuesta y calle en la inacción.

Es necesario reconocer y apreciar las dimensiones, complejidades y relaciones que constituyen la problemática ambiental. Es indispensable el conocimiento que a cada individuo le haga falta para identificar su propia coordenada y su aporte al cuerpo de la problemática, sus actitudes y sus valores ante la complejidad llamada naturaleza (nada ni ajeno ni externo), a la cual contribuimos cada vez que respiramos y en cada uno de nuestros actos.

No existe ninguna inteligencia diferente, ni es necesario inventarla. La notable capacidad de raciocinio que nos ha traído hasta el presente estado de cosas (como nunca desafiante y ominoso) es la misma que, mezclada con dosis aún mayores de la generosidad de la sabiduría y de un profundo e ilustrado sentimiento de identidad con la vida y el universo, nos permitirá decidir el mejor rumbo.

Aspectos ambientales de la sustentabilidad

Recursos naturales

*Sergio Revah Moiseev
Octavio Saucedo Lucero*

La vida humana se sustenta en la disponibilidad de recursos del planeta. Su uso, y abuso, en muchos casos, está en el centro de la discusión sobre sustentabilidad, pues son una parte fundamental del legado transgeneracional. En este capítulo se revisan los diferentes tipos de recursos y las consecuencias de su utilización, principalmente la contaminación. Al final de texto se señalan con asteriscos algunas referencias generales para profundizar en estos temas.

Definiciones y clasificaciones

Recursos naturales

Las varias definiciones del término recurso natural tienen en común el concepto de utilidad para cubrir las necesidades de nuestra especie. Es un concepto estrictamente antrópico y la ONU lo define como: "...todo aquello que encuentra el hombre en su ambiente natural y que puede utilizarse de alguna manera para su propio beneficio".

Puesto que no todos los elementos de la naturaleza son utilizados o aprovechados por la humanidad, en el sentido estricto del término, tampoco todos los elementos naturales constituyen un recurso natural. Para que sea considerado como tal, es necesario que tenga alguna utilidad (biológica, física, estética, etc.) y que sea utilizado actualmente o en un futuro previsible.

Los recursos naturales y ambientales incluyen elementos bióticos (seres vivos) y abióticos, caracterizados, en general, por ser limitados e interdependientes. Limitados porque no se puede disponer de ellos indefinidamente; e interdependientes porque entre ellos se da una relación funcional de equilibrio en que la alteración de uno afecta el desarrollo de los otros. En este sentido, el uso de los recursos no puede verse separado de las consecuencias de su

uso, principalmente su agotamiento, que va en contra de la sustentabilidad, o de la contaminación como producto de sus usos inadecuados.

Clasificación

Para clasificar los recursos naturales se pueden adoptar criterios muy diversos, como son: nuestro grado de conocimiento sobre los mismos (recursos identificados, hipotéticos y especulativos), según su naturaleza (recursos biológicos, geológicos, recreativos o culturales) y según sus posibilidades de regeneración. Es atendiendo a este último criterio, es decir, a su capacidad o velocidad de generación o regeneración a medida que son explotados, que los recursos naturales pueden clasificarse en recursos renovables y recursos no renovables:

- *Recursos renovables*: son aquellos cuya capacidad de regeneración es asimilable a la escala humana, o bien tan abundantes que se consideran inagotables.
- *Recursos no renovables*: son aquellos que existen en cantidades limitadas, de manera que su consumo en la actualidad no estará disponible para su consumo en el futuro.

La disponibilidad de recursos y el impacto antrópico de su utilización tienen que considerarse dentro de escalas de espacio y de tiempo. Desde el punto de vista espacial se pueden estudiar a la escala del individuo y de su entorno inmediato, a la escala local (≈ 100 km), a la regional ($\approx 1\ 000$ km) y finalmente a escala global. En el aspecto temporal, los impactos ambientales tienen una duración altamente variable, que se verá más adelante cuando revisemos los recursos renovables y los no renovables. Las relaciones entre uso de recursos y su impacto en las diferentes escalas, espacial y temporal, se relacionan sistémicamente de una manera compleja y su comprensión es fundamental para alcanzar la sustentabilidad.

Recursos naturales renovables

En el caso de los recursos renovables, es necesario considerar el marco temporal de su aprovechamiento y explotación desde un punto de vista antropogénico, ya que, en teoría, si estos recursos se aprovechan bien y se permite su regeneración, su uso puede ser ilimitado, por lo que sus reservas no se verían afectadas a una escala de tiempo humana.

El término agotable se utiliza a veces como sinónimo de no renovable, pero es necesario señalar que los recursos renovables también pueden terminarse

si se sobreexplotan, esto es, se aprovechan a una tasa mayor a la de su regeneración (por ejemplo, los bosques son un recurso renovable, pero al talarse en exceso dejan de serlo por pérdida de suelo y especies, algo que ya está ocurriendo en la selva amazónica).

Recursos perpetuos

Los recursos naturales perpetuos son abundantes e ininterrumpidos y ocurren en la naturaleza al margen de las actividades humanas. Ejemplos de recursos perpetuos son el viento, el sol, las olas, las mareas y las fuentes (agua y vapor) geotérmicas. Estos recursos son el origen y sustento de la vida en el planeta. Su disponibilidad ha hecho que se busque aprovecharlos más y mejor, y los principales resultados se encuentran en la producción de energía. Lo anterior ha promovido el desarrollo de diversos procesos tecnológicos adaptados a la disponibilidad variable e impredecible de algunos de estos recursos (por ejemplo la disponibilidad de luz solar según el día o la noche, del clima o de las estaciones).

Obtención y aprovechamiento de la energía solar

Nuestro planeta recibe del sol una cantidad de energía anual de aproximadamente 3.8 millones de exajoules (10^{18} joules). Para tener una idea de la dimensión de esta cantidad, se estima que la energía solar recibida por la tierra en una hora es mayor a la consumida por las actividades humanas en un año. La energía solar permite la captura de CO_2 por los organismos fotosintéticos y la generación del material orgánico que constituye la vida. El uso directo de la energía solar requiere de la utilización de dispositivos que capturen la energía proveniente del sol y la transformen en otra forma de energía; sin embargo, su aprovechamiento está condicionado a diferentes factores, como la intensidad de la radiación solar recibida por la tierra, los ciclos diarios y anuales del planeta y las condiciones climatológicas locales.

Existen dos alternativas principales para realizar estas transformaciones: la conversión fototérmica y la conversión fotovoltaica.

Energía solar térmica. Permite la conversión de la radiación solar en energía térmica; para ello se utiliza un colector por el cual circula un fluido que absorbe la energía radiada del sol. Está basado en principios termodinámicos, donde la energía fluye de las partes calientes a las frías. Su uso más común es el ámbito doméstico para el calentamiento del aire y del agua. Otras configuraciones a mayor escala concentran la energía solar por medio de espejos, con lo que se pueden alcanzar temperaturas mayores a 400 grados centígrados.

Energía solar fotovoltaica. Busca convertir directamente la radiación solar en electricidad. Se basa en el efecto fotoeléctrico mediante celdas fotovoltaicas, las cuales son semiconductores a base de silicio cristalino sensible a la luz solar; de manera que cuando se expone a ésta, se crea una diferencia de potencial sobre la celda que provoca una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras. La tecnología fotovoltaica actualmente ya es competitiva en cuanto a electrificar emplazamientos alejados de las líneas eléctricas como, por ejemplo, viviendas rurales, bombeo de agua, señalización, alumbrado público, equipos de emergencia, etc., mientras que su aplicación industrial y a gran escala se encuentra en fase de desarrollo y optimización. El factor determinante es la eficiencia de las celdas y el desarrollo paralelo de sistemas de almacenamiento (baterías); ambos, temas en donde hay mucha inversión por su relevancia como energía limpia.

Recursos renovables

El principal aprovechamiento que se le da a estos recursos es satisfacer las necesidades primarias, como agua, alimentación, vivienda y salud. Entre los recursos renovables se encuentran todos los recursos bióticos y los abióticos involucrados en los ciclos biogeoquímicos, de manera que para entender cómo se regeneran constantemente las reservas de estos recursos es necesario conocer primero qué son los procesos y los ciclos biogeoquímicos.

Aunque no son definiciones formales, los recursos renovables pueden subdividirse en autorrenovables y no autorrenovables, la principal diferencia entre ellos es la necesidad de la intervención humana para su regeneración.

Ciclos biogeoquímicos

Se le denomina Biosfera a la capa en el planeta tierra donde los seres vivos (biota) interactúan con la atmósfera (aire), la hidrosfera (agua) y la litosfera (suelo y rocas) en un sistema muy complejo que involucra diversos procesos biológicos, geológicos, químicos y físicos, de los que su principal fuente de energía es el sol.

La biosfera abarca diferentes ecosistemas (bosques y selvas, pastizales, desiertos, océanos, etc.), interconectados por diversos flujos internos y externos de materia y energía, a esto se le conoce como ciclos biogeoquímicos. Nuestro planeta actúa como un sistema cerrado, donde la cantidad de materia existente permanece constante, pero sufre permanentes cambios en su estado químico, lo que da lugar a la producción de compuestos simples y complejos. Es por ello que los ciclos de los elementos químicos

gobiernan la vida sobre la Tierra, partiendo desde un estado elemental para formar componentes inorgánicos, luego orgánicos, hasta volver a su estado elemental.

El término ciclo biogeoquímico se deriva del movimiento cíclico de los elementos o sustancias que forman la biosfera. Estos ciclos permiten que los principales elementos requeridos por los organismos (denominados macronutrientes, como el carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno, el fósforo y el azufre) y los requeridos en pequeñas cantidades (los micronutrientes como el hierro, el cobre, el zinc, el cloro, el yodo, etc.) estén disponibles para ser usados repetidamente por los seres vivos. Los ciclos biogeoquímicos más importantes corresponden al agua, el oxígeno, el carbono y el nitrógeno, casi todos interconectados con otros ciclos.

Ciclo biogeoquímico del carbono

El carbono puede encontrarse en todos los componentes de la biosfera. Es el componente principal de todos los seres vivos y toda la materia orgánica. El carbono circula a través de las diferentes esferas de la biosfera a tres escalas de tiempo: corto, mediano y largo plazos.

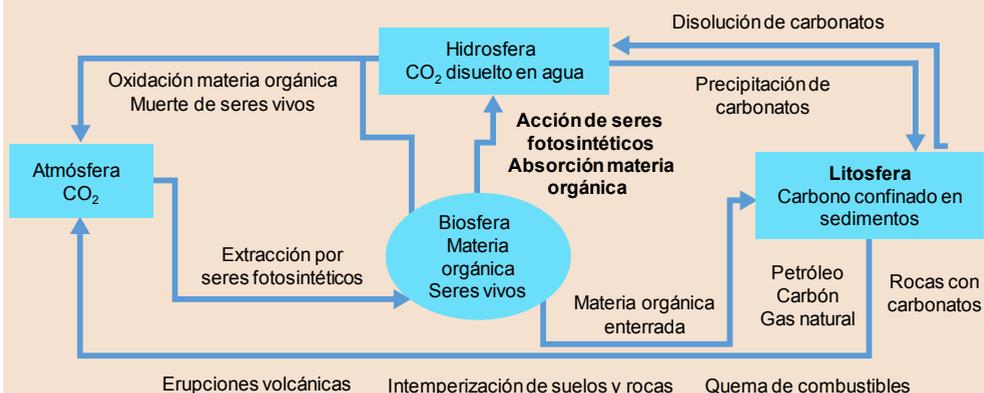
Ciclo de carbono a corto plazo. El ciclo corto del carbono abarca periodos de segundos a años, involucra su transformación por los seres vivos e inicia con el CO_2 presente en la atmósfera, el cual es tomado del aire por organismos fotosintéticos (plantas y algas) tanto en tierra como en agua. Estos productores primarios transforman el carbono en material orgánico, incorporándolo a sus tejidos en forma de proteínas y carbohidratos (es en esta parte donde otros ciclos, como el del agua, nitrógeno y fósforo, se ven involucrados de manera directa). De igual manera, la materia orgánica de estos seres puede almacenarse en el lecho de cuerpos de agua o suelo mediante el sistema de raíces. Las plantas o algas son ingeridas por animales herbívoros que a su vez son consumidos por otros animales; esto se conoce como cadena alimenticia (también llamada red trófica). El aprovechamiento de los alimentos libera a su vez CO_2 al aire mediante la respiración y se libera materia orgánica a través de los excrementos, que es aprovechada por especies como hongos y bacterias. Al morir los organismos pueden liberar carbono en forma de gas, como CO_2 o metano (CH_4).

Ciclo de carbono a mediano plazo. Este ciclo abarca periodos de miles a millones de años, en los que se involucra la materia orgánica almacenada en la litosfera y el oxígeno atmosférico. Este ciclo comienza, al igual que el de corto plazo, con la absorción del CO_2 atmosférico por parte de organismos fotosintéticos y la acumulación de éstos y sus consumidores en los sedimentos marinos y suelos

(restos fosilizados de plantas, animales y microorganismos), los cuales, en diversos procesos fisicoquímicos y condiciones ambientales muy específicas, se convierten en petróleo, gas natural o carbón.

Al liberarse estos depósitos a la biosfera, mediante procesos ambientales y actividades antropogénicas, este tipo de carbón se convierte en CO_2 , agua y calor al entrar en contacto con el oxígeno atmosférico o aprovecharse como recurso energético. Una vez que esta forma de carbón es convertida en CO_2 , su transformación nuevamente a combustibles fósiles puede tardar millones de años.

Ciclo de carbono a largo plazo. Éste incluye toda la historia de la Tierra, pues involucra los procesos abióticos del carbono, es decir el movimiento de los carbonatos a través de la litosfera y la hidrosfera. El ciclo inicia con la meteorización de las rocas con carbonatos, que al disolverse se incorporan a cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Al alcanzar el lecho marino y verse expuestos a temperaturas y presiones muy altas, los carbonatos dan origen a nuevas rocas en la litosfera. Este carbón puede nuevamente llegar a la biosfera mediante las erupciones volcánicas, en forma de CO_2 o rocas fundidas que al entrar en contacto con agua (atmosférica o líquida) lo disuelven, iniciando el ciclo otra vez.



Esquema del ciclo del carbono.

Recursos naturales autorrenovables

Los recursos naturales autorrenovables no requieren de acciones antropogénicas para su regeneración y reaprovechamiento. Estos recursos suelen considerarse de “dominio público”, ya que cualquiera puede tener acceso a ellos. Ejemplos de este tipo de recursos son los bosques, los ríos, los lagos, las aguas subterráneas, los recursos pesqueros, las tierras de cultivo,

los animales de caza, etc. El papel de este tipo de recursos dentro de los ciclos biogeoquímicos (como por ejemplo el del carbono o el del agua) es el principal factor que permite su regeneración. Sin embargo, si estos recursos son explotados más allá de su capacidad de regeneración pueden llegar a perderse; ejemplos de ello son el empobrecimiento de los suelos por ganadería o agricultura extensiva; la extracción de maderas en selvas y bosques, lo que da paso a la deforestación que a su vez favorece eventualmente el cambio de uso de suelo a tierras de cultivo o ganaderas; la sobrepesca y la cacería sin control, que pueden llegar a provocar la extinción de especies.

Suelos

El suelo es un recurso natural que contiene agua y elementos nutritivos que utilizan los seres vivos. Es vital, ya que el ser humano depende de él para la producción de alimentos, la crianza de animales, la plantación de árboles, la obtención de agua, entre otras cosas. En él se apoyan y nutren las plantas en su crecimiento y condiciona el desarrollo del ecosistema; además es soporte físico de la agricultura, recibe sus residuos y actúa como filtro depurador para proteger de la contaminación las aguas subterráneas y la cadena alimenticia. Este elemento es necesario para la existencia de la vida terrestre; interviene en casi todos los ciclos biogeoquímicos (por ejemplo, el del agua, el carbono, el nitrógeno, el fósforo, entre otros), además de en gran parte de las transformaciones de la energía y la materia en los ecosistemas.

Para que el suelo tenga la capacidad de cumplir con todas sus funciones es necesario que mantenga determinados parámetros de porosidad, composición química, presencia de microorganismos y materia orgánica, de acuerdo con un complejo equilibrio. Sin embargo, existen algunas prácticas antropogénicas inadecuadas relacionadas principalmente con la producción de recursos alimentarios que pueden degradar su calidad, provocando, entre otros, pérdida de fertilidad, salinización, contaminación por uso excesivo de agroquímicos, acidificación, compactación, erosión y finalmente desertificación. Otras tendencias que afectan la disponibilidad del suelo incluyen la urbanización, las actividades industriales que provocan contaminación, la minería, etcétera.

Recursos naturales no autorrenovables

Se entiende por recursos no autorrenovables aquellos donde se requiere alguna actividad antropogénica para poder regenerar reservas. Ejemplos de este tipo de recursos son, entre otros, los cultivos alimenticios, la ganadería, el agua potable, el aire limpio.

Para que las reservas de este tipo de recursos sean renovadas es necesaria la aplicación de tecnologías que impidan el deterioro del recurso o permitan el manejo de los subproductos indeseables, como contaminantes o agentes tóxicos para el caso del aire y el agua limpia, o bien, para acelerar la reproducción o aprovechamiento de otros recursos bióticos mediante la domesticación de plantas y animales. Si bien este tipo de recursos pueden regenerarse naturalmente, la velocidad y el tiempo necesarios para que esto suceda pueden mejorarse sensiblemente con la intervención humana. Ejemplo de lo anterior son las plantaciones forestales para el aprovechamiento de madera.

Recursos alimenticios

Se estima que son más de 30 000 las especies vegetales, hongos y animales que los seres humanos pueden aprovechar como recurso alimenticio. Sin embargo, solo 14 plantas y 9 animales terrestres son explotados para producir más de 90% de los alimentos humanos, los cuales se aprovechan en tres principales sistemas de producción (conjunto de prácticas que incluyen tecnologías y recursos humanos mediante los cuales se consigue la producción de alimentos):

Producción agrícola: Se refiere a las prácticas de agricultura para la obtención intensiva de productos vegetales, incluyendo cereales, leguminosas frutas, tubérculos, etc. Puede tener muy variados niveles tecnológicos, desde el cultivo de temporal hasta los invernaderos con control avanzado.

Producción animal: Incluye desde sistemas de pastoreo en pastizales hasta la producción altamente tecnificada en granjas y ranchos.

Productos de pesca y acuicultura: Al igual que en los casos anteriores, se desarrolla con una gran diversidad tecnológica: desde pesca de cercanía en costas, barcos-fábrica que se mantienen varios meses en altamar, y el cultivo intensivo de ciertas especies, como salmones, crustáceos, etcétera.

La principal problemática respecto a la producción de alimentos se refiere a la necesidad de consumir constantemente otros recursos para poder mantener la oferta; esto es, se requieren cantidades importantes de combustibles fósiles, agua, fertilizantes, pesticidas, suelo fértil y mano de obra. Como ejemplo, el campo en México consume más de 75% del agua disponible. Asimismo, la producción de alimentos puede incurrir en graves daños a los ecosistemas, además de los mencionados previamente en el caso de los suelos, como el caso del arrastre de fertilizantes por riego o lluvias, que provoca eutrofización* de lagos y océanos, el agotamiento o salinización de mantos acuíferos por su uso excesivo, la pérdida de biodiversidad por el uso intensivo de pocas especies y la reducción de bosques y selvas por su transformación a pastizales y tierras de cultivo.

Para cubrir la producción alimentaria de forma sostenible y con un bajo impacto ambiental, se requiere implementar tanto diversas tecnologías como políticas económicas y sociales para lograr que alimentos nutritivos y seguros estén disponibles para toda la población.

- * La eutrofización es el enriquecimiento de las aguas con nutrientes (nitrógeno y fosfatos principalmente) a tasas mayores que la mineralización o dispersión que provocan la producción de un exceso de materia orgánica (algas), la cual disminuye el contenido de oxígeno en las aguas profundas, reduciendo con ello la diversidad de especies.

Recursos no renovables

Este tipo de recursos existen en una cantidad finita en el planeta debido a que su regeneración por medio de los ciclos biogeoquímicos se lleva a cabo en periodos que exceden con mucho la escala humana, llegando a ser de miles e incluso millones de años. Entre éstos se pueden encontrar los energéticos (gas natural, petróleo y carbón), los recursos mineros metálicos (aluminio, oro, plata, uranio), los recursos mineros no metálicos (sal, arcilla, grava, fosfatos), así como todos los productos derivados de los mismos.

Los recursos no renovables fácilmente obtenibles ya se agotaron hace mucho tiempo, por lo que ahora es más complicado acceder a ellos. Los recursos se encuentran en yacimientos, tanto mineros como de combustibles fósiles, que se encuentran más abajo de la capa superficial de la tierra o en el fondo de los lechos marinos, por lo que es necesario desarrollar y aplicar tecnologías cada vez más sofisticadas para su explotación y aprovechamiento, con el fin de lograr su comercialización. El avance tecnológico puede aumentar de modo efectivo la oferta de recursos al contribuir a encontrar nuevos yacimientos y acceder a existencias que antes resultaban inalcanzables.

Si bien las reservas de este tipo de recursos son finitas, existen diversas estrategias para poder reaprovecharlos como nueva materia prima o reutilizarlos mediante diversos tipos de tratamiento, sin embargo esto no aplica a todos los recursos no renovables.

Recursos no renovables agotables

Se refiere principalmente al uso como energéticos de los combustibles fósiles que, en consecuencia, no pueden ser renovados o reaprovechados. Lo anterior impone la necesidad continua de seguir extrayéndolos y de explotarlos, lo que podría llevar a su total agotamiento.

Si bien aún existen en cantidad suficiente para su explotación en años próximos, puede haber escasez si las tasas de consumo rebasan la capacidad de descubrir nuevas reservas o yacimientos. Esta insuficiencia de oferta, ya sea en la extracción, la distribución, el tratamiento o la comercialización, tanto de la materia prima como de los productos derivados, induce aumentos de precios. El incremento de valor de la energía estimula tanto la búsqueda de fuentes tradicionales menos accesibles como la extracción de petróleo de yacimientos como los encontrados en aguas profundas. También acelera el desarrollo de tecnologías para obtener productos fósiles de fuentes no convencionales, como la creciente sustracción de petróleo y gas de esquistos bituminosos, o *shale oil*, que se comenzó a explotar a raíz del desarrollo de la tecnología de fractura hidráulica (o *fracking*). Por otro lado, los crecientes costos de energía también favorecen el desarrollo de fuentes alternas, como la solar, la eólica, etcétera.

Recursos no renovables reciclables y reutilizables

Algunos de los recursos no renovables pueden ser utilizados repetidas veces con el mismo fin o similar (reutilizables), o recuperados y reprocesados para crear nuevos productos (reciclables). Ambas prácticas, junto con la reducción del uso, tienen a la larga el impacto de disminuir la demanda de recursos, con la consecuente reducción del impacto, y deben ser la base de la educación ambiental. Por otro lado, crean también oportunidades de nuevos productos o actividades comerciales.

La reutilización está adaptada principalmente a productos terminados y tiene un impacto individual que puede ser significativo socialmente. El reciclaje es una práctica económica muy importante, ya que permite reprocesar recursos no renovables ya explotados previamente y así producir nueva materia prima, nuevos productos u otros servicios, con las ventajas que otorgan los consecuentes beneficios ambientales, sociales y económicos. Existen limitantes para que un recurso sea reciclado, incluyendo la pérdida de la calidad del material reciclado debido al reproceso, o el abaratamiento de la materia prima o de los elementos producidos. Podemos mencionar algunos ejemplos de recursos que pueden ser mejor aprovechados y prolongar su vida útil mediante la reutilización y el reciclado.

Vidrio. Antes del auge del plástico, el vidrio era el material preferido como envase para alimentos y bebidas, y era recolectado, lavado y reutilizado tanto como era posible. Recientemente, y debido a los altos costos de recolección y transporte, sumado a la mejora en la eficiencia de la producción, ha disminuido el uso de esta práctica. Por otra parte, el reaprovechamiento de vidrio ha ido en aumento en países desarrollados, hasta alcanzar tasas de reciclaje

que van del 30 al 46% de los desechos. Dado que el vidrio triturado requiere para su fundición de una temperatura menor a la del material de producción virgen (arena, carbonato de calcio y piedra caliza), el proceso permite un ahorro energético para el fabricante y un abaratamiento en su producción, con la ventaja de que se puede obtener un producto con calidad similar.

Aluminio. Este metal es básicamente reciclado debido al alto costo del proceso para extraerlo a partir de la bauxita, que es su principal materia prima. Se estima que el costo de reprocesar un kilogramo de aluminio es 20 veces menor que el de obtener un kilogramo del metal a partir de la bauxita. Dada su justificación económica y al uso cada vez más extendido del aluminio, se ha desarrollado una extensa infraestructura de recolección y reprocesamiento de todos los productos hechos a partir de este metal. El aluminio es la materia prima que se recicla con mayor éxito, pues alcanza tasas de reutilización de hasta 90% en países desarrollados.

Plástico. la producción de plásticos ha aumentado notablemente en los últimos 50 años, sobre todo su uso en la elaboración de diversos artículos como ropa, envases, muebles, material de construcción, partes de autos o de computadoras, etc. Su reutilización tiene impacto en el ámbito individual y sólo en pocos casos, como la elaboración de garrafones para agua, se realiza sistemáticamente. Respecto al reciclado, no es tan ampliamente aplicado como en los dos ejemplos anteriores, principalmente porque el material virgen es relativamente barato; la dificultad es la logística de la separación y recolección, y la degradación en la calidad del material obtenido después del proceso de reciclado. Los principales polímeros que pueden reciclarse son el tereftalato de polietileno (PET), el polipropileno (PP) y el poliestireno, los cuales representan alrededor de 25% del volumen en los rellenos sanitarios. Los productos reciclados pueden tener presiones por falta de mercados o por irregularidades en la calidad o disponibilidad de materia prima.

Las tres R: Reducir, Reutilizar y Reciclar

El concepto de las 3R es ampliamente utilizado en el ámbito educativo para acercarnos de manera individual y colectiva a disminuir, entre otros, el uso de recursos naturales, los residuos que se generan, los costos, la energía y la emisión de contaminantes. Es importante señalar que, aunque las mencionamos juntas, no son iguales; desde la sustentabilidad y en orden de preferencia, su impacto sería: Reducir > Reutilizar > Reciclar. La internet tiene innumerables recursos de soporte para el concepto de las 3R.

Reducir. Es claro el beneficio directo de reducir al plano personal el consumo de recursos como agua, electricidad y combustibles. En el ámbito local, se

buscaría promover el transporte público, eliminar fugas de agua, etc. En la industria, se busca mejorar los procesos para producir lo mismo con menores recursos materiales y energéticos. Reducir el consumo tiene un beneficio económico directo.

Reusar. Prolongar el uso de los materiales permite también reducir la demanda de recursos. Así, en los planos personal y familiar se pueden usar repetidas veces o para almacenar, recipientes como bolsas de plástico y botellas de agua; también, se pueden usar las aguas grises para los retretes; donar (en lugar de tirar) productos en buen estado que no necesitemos, y comprar mercancías usadas cuando se pueda.

Reciclar. A diferencia de los dos anteriores, el reciclado conlleva el uso de energía para obtener nuevos productos. Así, se requiere coleccionar y transportar vidrio, plásticos o metales a las plantas de reciclaje y energía para su reprocesamiento. Tiene un fuerte sustento económico para metales o vidrio, pero fuerte competencia en otros, como plásticos y textiles, por los bajos precios de las materias primas vírgenes.

Recursos en riesgo

Problemas ambientales locales, regionales, globales, y el Antropoceno

La historia de la tierra ha tenido periodos de alta actividad que han implicado cambios en la orografía, en el clima y, eventualmente, en el desarrollo de la vida hasta este momento. El último periodo de 10 000 años, conocido como Holoceno, ha sido particularmente estable y lo seguiría siendo de no ser cada vez más significativo el impacto de las actividades humanas en la biosfera. Lo anterior ha llevado a llamar Antropoceno a esta nueva era geológica que podría considerarse que inicia con la agricultura y la ganadería, que llevó a despejar tierras vírgenes y a la selección de especies vegetales y animales susceptibles de ser domesticadas. El aumento de la población y sus necesidades de alimento y energía favoreció la colonización de zonas fértiles y aumentó el impacto de lo local a lo regional, lo que permitió la aparición de grandes extensiones degradadas y la desaparición de especies. El inicio de la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII, aunado al aumento de la población por mejoras en la higiene y la salud y al incremento generalizado en el nivel de vida (véase IPAT, más adelante), conlleva un aumento en el uso de recursos, hasta llegar al punto en que los impactos rebasan los ámbitos local y regional, hasta llegar al global.

Como se mencionó previamente, el problema de recursos y contaminación se estudia, y en muchos casos se intenta resolver, haciendo uso de la escala apropiada, contribuyendo así a reducir los impactos globales. Es claro que los problemas relacionados con el ambiente variarán ampliamente con la diversidad de situaciones presentes, no sólo en el entorno sino también en los aspectos económicos y sociales, como se ve ampliamente en este libro.

EFFECTOS ESPACIALES DE USO DE RECURSOS E IMPACTO AMBIENTAL

Recurso o impacto	Individual	Local (hasta 100 km)	Regional (hasta 1000 km)	Global
Agua potable	Contaminación cisterna, tinacos	Contaminación y salinización de mantos	Cuencas hidrológicas, salinización	Disponibilidad de agua potable
Contaminación aire	Contaminación de interiores: casas, edificios, industria, edificios enfermos. Olores	Ozono, SO _x , NO _x , partículas	Lluvia ácida, partículas	Calentamiento global, polos, lluvia ácida, Capa de ozono
Contaminación agua	Fosas sépticas	Contaminación de ríos, lagos	Cuencas	Acidificación, océanos, plásticos
Suelo y residuos	Derrames, basura urbana e industrial	Contaminación por minería, industria, basura, agrícola.	Desertificación	Desertificación
Biodiversidad	NA	Especies endémicas	Especies endémicas	Generalizada: mamíferos marinos, corales

Escala individual. El uso de recursos y sus impactos se perciben inicialmente a la escala del entorno del individuo y se relacionan con los lugares donde vive, trabaja, se transporta, sus patrones de consumo, etc. En el hogar, el consumo de leña o carbón para cocinar o calentar el interior del inmueble genera humo y sustancias volátiles dañinas para la salud en el mediano plazo, además de que existe el riesgo de intoxicación y muerte por monóxido de carbón si la situación es extrema. Fuera de la vivienda, el individuo se ve sujeto a condiciones del transporte en malas condiciones, a vivir cerca de focos de contaminación como basureros o al trabajo en una industria de impresión o taller de pintura dónde el uso de solventes crea condiciones que pueden ser muy dañinas para la salud.

Problemas locales. Enfocándonos al ambiente natural, existen grandes diferencias en los impactos locales si los espacios son rurales o urbanos, la disponibilidad de recursos, el tamaño de la población, el clima, etc. Como ejemplo veamos el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), que abarca cerca de 8 000 km² (un círculo con diámetro de 100 km tendría aproximadamente la misma superficie) e incluye las 16 delegaciones de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y un municipio del estado de Hidalgo. Esta gran ciudad tiene alrededor de 18% de la población de México y produce casi la cuarta parte de la riqueza nacional. La densidad poblacional, junto a características orográficas particulares, favorece la acumulación de contaminantes en la atmósfera, tanto primarios (las partículas, compuestos orgánicos volátiles, etc.) como secundarios (ozono). Si tomamos el ejemplo previo de la quema de leña o carbón podríamos ver que la crisis sería mayor si la práctica fuera común. De hecho, en el periodo de diciembre de 1952 a febrero de 1953, en Londres murieron más de 12 000 personas por intoxicación debido a la excesiva quema de carbón por una onda fría que sufrió la ciudad al inicio de ese periodo. En otro ejemplo, la demanda local de agua impone una extracción del manto acuífero que rebasa la capacidad de recarga y obliga a buscar fuentes más alejadas, como las del sistema Cutzamala.

Problemas regionales. Reflejan la problemática acumulada de diferentes localidades, como el asunto del agua potable en la ZMVM mencionado previamente. Otro caso incluye la degradación de cuencas hidrológicas favorecida por el arrastre de contaminantes; aquí puede citarse como ejemplo la situación de la cuenca Lerma–Chapala, que abarca territorio de cinco estados: Michoacán, Estado de México, Guanajuato, Jalisco y Querétaro, y cubre 53 591 km². Está localizada en la parte central del país, y es muy importante tanto por la cantidad de personas que residen en ella y su "área de influencia" como por su gran actividad industrial y económica. La cuenca muestra niveles muy altos de contaminación, principalmente de agua, por ciudades e industria, que se intentan resolver mediante la prevención y el uso de plantas de tratamiento. Otro ejemplo documentado es el llamado Mar Muerto del Golfo de México, que es una zona de alrededor de 20 000 km² en la desembocadura del río Mississippi (Rabalais *et al.*, 2002). Esta zona, en el norte del Golfo de México, es considerada el hábitat costero más contaminado del planeta, provocado por el arrastre de nutrientes agregados durante de la fertilización de tierras agrícolas, que produce una avanzada eutrofización.

Problemas globales. Finalmente, la acumulación de todas las contribuciones de consumo de recursos y generación de contaminación provoca problemas en el ámbito global. Un reciente estudio (Rockström *et al.*, 2009) propone un marco de referencia basado en "límites planetarios" que definen un espacio

seguro para que pueda subsistir la humanidad en relación con el sistema de la Tierra. Como lo mencionan los autores, los sistemas complejos de la Tierra a veces responden sin problema a las presiones, pero probablemente no sea así en el futuro, cuando se conjunten diversas amenazas.

El artículo identifica algunos procesos que pueden haber rebasado umbrales críticos. Entre éstos destaca el cambio climático, impulsado principalmente por el uso de recursos naturales no renovables, como petróleo, gas y carbón. La pérdida de biodiversidad, que aunque es un fenómeno local y regional puede afectar la estabilidad de los ecosistemas, además de que se pueden perder ricos y diversos recursos genéticos para toda la humanidad. El uso extensivo de nitrógeno y fósforo en la agricultura tiene un impacto en los cuerpos de agua, como se mostró para el caso del Golfo de México, que rebasa ya el ámbito regional. Ambos recursos tienen origen y problemáticas particulares: el nitrógeno para fertilizantes es producido sintéticamente en cantidades muy superiores al nivel fijado naturalmente en la atmósfera, y su aplicación, además, tiene impacto en la producción de óxido nitroso (N_2O), un gas con efecto de calentamiento global alrededor de 250 veces más alto que el CO_2 . Por su parte, el fósforo, que es usado como fosfatos en agricultura, es un mineral fósil del cual se extraen 20 millones de toneladas anuales, y se estima que puede comenzar escasear en 25 o 30 años, lo que es una amenaza para la seguridad alimentaria. La tabla menciona también otros problemas relevantes en diferente nivel de gravedad, como el agotamiento de la capa de ozono estratosférica, la acidificación de los océanos, la disponibilidad de agua potable y los cambios en el uso del suelo. Se recomienda una referencia general, como el libro de Boersema y Reijnders (2009), para comprender más en detalle cada uno, pero conviene destacar que no conocemos aún ni el nivel de gravedad ni el impacto de muchos problemas ya identificados.

La ecuación IPAT

Una manera de relacionar el impacto sobre el medio ambiente derivado del consumo de los recursos o de la contaminación es por medio de la ecuación IPAT descrita por Miller *et al.* (2007) y Boersema y Reijnders (2009). Existen varias versiones de esta ecuación, pero en general IPAT relaciona el Impacto medioambiental (I) con el tamaño de la población (P), la cantidad de recursos usados por cada persona y que se relaciona con el estilo de vida (A) y el impacto generado por el uso de los recursos (T). El término T incluye la tecnología, pues su avance conlleva tanto menor uso de recursos como de generación de contaminación. La ecuación queda así:

$$I(\text{Impacto}) = P(\# \text{Personas}) \times A\left(\frac{\text{Recursos usados}}{\# \text{Personas}}\right) \times T\left(\frac{\text{Impacto}}{\text{Recursos usados}}\right)$$

Variaciones de esta ecuación se han usado para explicar uso de energía o emisión de carbón:

$$I(\text{Emisión carbón}) = P(\# \text{Personas}) \times A\left(\frac{\text{PIB}}{\# \text{Personas}}\right) \times T\left(\frac{\text{Carbón emitido}}{\text{PIB}}\right)$$

En el siguiente ejemplo de emisión de carbón podemos comparar a China, (líder en la emisión de CO₂), EUA y México, con datos del Banco Mundial para 2011- 2015.

<i>Emisión (I)</i> <i>(billones de kg equivale a miles de millones de ton.)</i>	<i>Población (P)</i> <i>(miles de millones de personas)</i>	<i>Producto Interno Bruto per cápita (A)</i> <i>(miles de dólares/ persona)</i>	<i>CO₂ producido por PIB (T)</i> <i>(kg de CO₂ por dólar)</i>
China: 9 (7.1)	1.35	7.5	0.7
EUA: 5.3 (5.3)	0.320	55	0.3
México: 0.45 (0.26)	0.125	10.5	0.2*

Fuente: <http://data.worldbank.org/>

Los valores en negritas son los reales y los que están entre paréntesis corresponden a los calculados con la ecuación IPAT; las diferencias se deben a que vienen de diferentes fuentes. Pueden verse las diferencias de población e ingreso. El número (T) corresponde a la cantidad de energía necesaria para producir una unidad monetaria y refleja el avance tecnológico. Analizando la ecuación IPAT, que hay que tomarla como una simplificación, podemos ver que es precisamente el término (T) el único que podría disminuir, y por ende el impacto, dado que tanto la población como la producción de bienes históricamente tiende a crecer.

- Sorprende que en tabla el valor de (T) para México sea menor que el de EUA, considerando que no disponemos de tecnologías más avanzadas; sin embargo, la discrepancia se puede ver cuando comparamos los valores real y calculado de la emisión).

El uso sustentable de los recursos

En este punto se plantea la siguiente pregunta: ¿Qué hay que hacer para alcanzar la sustentabilidad? En este sentido, Riechman (1995) retoma los trabajos pioneros de Constanza y Daly (1992) para proponer algunos principios, desde la perspectiva del uso de los recursos, la emisión de contaminantes y la tecnología. La siguiente lista está basada en esos trabajos.

Principio de irreversibilidad cero: Busca que las intervenciones en el medio ambiente no lleven a daños irreversibles. Una explotación desmedida de especies puede llevar a su desaparición; por ejemplo, la vaquita marina, o la totoaba en el Golfo de California, la cual es pescada para extraer su vejiga que se vende muy cara en Asia.

Principio de la recolección sostenible de recursos renovables: Las tasas de recolección deben ser iguales a las tasas de regeneración de estos recursos. Por ejemplo, la extracción de agua del acuífero debería ser menor o igual a la recarga.

Principio del vaciado sostenible: A pesar de que no es posible recuperar los recursos naturales no renovables explotados (por ejemplo el petróleo), hay que buscar el crecimiento en la tasa de creación de sustitutos renovables, esperando que sean suficientes una vez se agote el recurso no renovable.

Principio de la emisión sostenible: Las tasas de emisión de residuos deben ser iguales a las capacidades naturales de asimilación de los ecosistemas a los que se emiten esos residuos. Consecuentemente, no deberían emitirse al medio ambiente residuos no biodegradables que se vayan acumulando, como es el caso de los plásticos

Principio de selección sostenible de tecnologías: Poner en marcha tecnologías que aumenten la eficiencia en el uso de los recursos frente a aquellas que incrementen la cantidad de recursos extraída. Además, que usen recursos renovables y reduzcan la emisión de residuos no biodegradables.

Principio de precaución: Ante la magnitud de los riesgos a que nos enfrentamos, se impone una actitud de vigilante anticipación que identifique y descarte de entrada las vías que podrían llevar a desenlaces catastróficos, aun cuando la probabilidad de éstos parezca pequeña y las vías alternativas más difíciles u onerosas.

Conclusiones

En este capítulo se revisaron los diferentes tipos de recursos necesarios para sostener las actividades humanas y los impactos derivados del uso de dichos recursos. Para dar viabilidad a proyectos sustentables, es necesario integrar de una manera sistémica los conocimientos mencionados con aspectos sociales y económicos.

Referencias generales

Enkerlin, E. C., G. Cano, R. A. Garza y E. Vogel (1997), *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*, 1ª ed.). México, International Thomson Editores. ,

Glynn, H. J. y H. Gary (1999), *Ingeniería ambiental*, 2a. ed., México, Prentice Hall Hispanoamerica.

Miller G. T., S., Scpoolman y S. Thomson (2007), *Living in the environment principles, connections, and solutions*, 15 ed., Canada.

Rabalais N. N., R. E. Turner y W. J. Wiseman (2002), "Gulf of Mexico hypoxia, AKA. "The dead zone", *Annual Review of Ecology and Systematics*, pp. 235-263.

Referencias que pueden consultarse en internet

Boersema, J. J. y L. Reijnders (2009), *Principles of environmental sciences*, J. Bertels, y H. Bezemer (eds.). Dordrecht: Springer.

Costanza, R. y H. E. Daly (1992), *Natural capital and sustainable development. Conservation Biology*, 6(1), pp. 37-46.

Mackenzie, F. T. (1999), *Global Biogeochemical cycles and physical climate system*, 1a ed., Global change instruction program, Hawái, EUA.

Riechmann, J. (1995), *Desarrollo sostenible: la lucha por la interpretación. De la economía a la ecología*, pp. 11-35.

Rockström J. et al. (2009), "A safe operating space for humanity", *Nature*, 461, 7263, pp. 472-475.

Biodiversidad

Leticia Arregui Mena
Arturo Rojo Domínguez

Aspectos ambientales de la sustentabilidad: la biodiversidad

El ajolote de Zempoala (Ambystoma altamirani)

Los ajolotes *Ambystoma altamirani* son animales anfibios, pequeños (como de 11 cm de longitud); su cola mide la mitad de su tamaño total; su piel es lisa, de color pardo a grisáceo, y húmeda. La forma de su cabeza es ancha y aplanada; no tienen párpados pero poseen una gran boca que parece sonreír. Al lado de su cabeza tienen tres ramificaciones, que son branquias que les permiten respirar bajo el agua, aunque sorprendentemente también pueden respirar fuera de ella usando sus pulmones y su piel (figura 1). Son animales muy peculiares; por ejemplo, sus patas delanteras tienen cuatro dedos y las posteriores cinco. Los ajolotes presentan un fenómeno llamado neotenia, que consiste en mantener algunos aspectos de la fase larvaria en el estado adulto, como las branquias, además de que continúan viviendo en el agua casi todo el tiempo (Conanp, 2009).



Figura 1. En esta imagen del ajolote se pueden ver las branquias a los lados de su cabeza.

Los ajolotes son endémicos de México, y aunque normalmente asociamos ajolotes con Xochimilco, los *Ambystoma altamirani* también existen en la zona centro del país, y pueden encontrarse asimismo en el Desierto de los Leones, que ni es desierto ni en él habitan leones, pero sí ajolotes. Forma parte del territorio de la Ciudad de México denominado suelo de conservación ecológica, por su riqueza natural y los servicios ambientales que brinda a la población urbana (Plan Verde, 2011) (figura 2). Los servicios ambientales incluyen: mantenimiento de la calidad del aire --que ayuda, entre otras cosas, a regular el clima--, mejoramiento de la calidad del agua, generación y conservación de suelo fértil, control de parásitos de cultivo y de enfermedades, abastecimiento de alimentos y disposición de residuos, entre otros (Biodiversidad Mexicana, 2015). Por estas razones, los esfuerzos para conservar el territorio de los ajolotes contribuyen también a nuestra calidad de vida e incluso a nuestra propia sobrevivencia, pues somos parte del mismo ecosistema.



Figura 2. A pesar de que el convento del Desierto de los Leones existe desde el siglo XVII, puede observarse que el ecosistema alrededor del mismo sigue siendo bosque.

Sin embargo, las distintas especies que se encuentran en las zonas de conservación ecológica de la ciudad se ven peligrosamente amenazadas por la pérdida de ecosistemas causada por la sobrepoblación humana y los altos índices de contaminación, en especial del agua. Aproximadamente 30% del hábitat disponible para el *Ambystoma altamirani* presenta ya modificaciones importantes que pueden evitar que esta especie encuentre condiciones adecuadas para su desarrollo (NaturaLista, 2013). Es por ello que este ajolote está clasificado como especie en peligro de extinción, ya que su población ha disminuido en más de 50% en las últimas tres generaciones, debido a la degradación de su ambiente, el cual se ha fragmentado gravemente. Algunas de las causas de la degradación de su hábitat son la explotación forestal ilegal, el impacto del turismo recreativo, la contaminación de las corrientes de agua y la introducción en éstas de algunos peces, como las truchas. Una de las acciones para protegerlos ha sido su denominación como especie protegida por las leyes mexicanas (IUCN, 2015).

El hábitat de este ajolote son pequeños arroyos que corren en medio de bosques de oyamel y de pino, o de pastizales. Vive en climas templados, semi-fríos y subhúmedos, a una altitud de entre 2 700 y 3 450 msnm (NaturaLista, 2013). Estos animales se alimentan principalmente de insectos acuáticos y terrestres, aunque se les ha visto alimentarse de algunas ranas; sus únicos depredadores conocidos, además del hombre, son las culebras de agua del género *Thamnophis* (Conanp, 2009).

Además de su importancia ecológica, el ajolote se ha utilizado como modelo de anfibio para el estudio de procesos fisiológicos y morfológicos, aunque lo que realmente lo convierte en la salamandra más estudiada es su asombrosa capacidad de regenerar sus extremidades.

Introducción

La biodiversidad es la variedad que existe en la vida, y está compuesta por distintos niveles: la variedad de especies sobre la Tierra, los genes que éstas contienen, los ecosistemas en los que viven y los procesos del ecosistema, como son los flujos de materia y energía (Miller y Spoolman, 2014). La biodiversidad es un recurso renovable muy vulnerable, y mantenerla es de vital importancia para la vida en el planeta.

Diversidad de especies

Comencemos explicando la diversidad de especies, ya que es lo que generalmente comprendemos como diversidad, aunque es sólo uno de sus componentes. Se considera especie a un grupo de organismos con características similares. En el caso de organismos con reproducción sexual, éstos deben poder aparearse y reproducirse para dar origen a descendencia fértil.

Actualmente se han identificado alrededor de 1.8 millones de especies, que es sólo una fracción del total que existen en nuestro planeta y que se estima entre 4 y 100 millones. De las especies conocidas, aproximadamente un millón son insectos, 270 000 son plantas y 45 000 somos vertebrados.

Las especies surgen gracias a la evolución biológica, proceso en el cual la vida cambia a lo largo del tiempo gracias a modificaciones en los genes de las poblaciones. Las poblaciones evolucionan cuando los genes mutan y se seleccionan los individuos con características que mejoran su capacidad de sobrevivir y de reproducirse por el proceso denominado selección natural. Se llama especiación cuando surge una nueva especie, generalmente por

un proceso de aislamiento geográfico seguido de aislamiento reproductivo, y se denomina extinción al proceso de desaparición de una especie. Los procesos de especiación y extinción son procesos naturales que han ocurrido desde el origen de la vida, sin embargo el ser humano ha acelerado el proceso de extinción de muchas especies, principalmente al afectar los ecosistemas.

La diversidad de especies de un ecosistema se mide por el número de especies distintas y por la abundancia relativa de individuos de cada especie. Por ejemplo, en un arrecife de coral (figura 3, izquierda) hay muchas especies distintas, pero pocos individuos de cada una de ellas, y por esto se considera que tiene una mayor riqueza de especies, mientras que los bosques de pinos, muy al norte del planeta, tienen pocas especies pero muchos individuos. En general los ecosistemas con más riqueza de especies son más productivos y sustentables, entendiendo como sustentables aquellos que son capaces de enfrentar mejor las perturbaciones, por ejemplo sequías, incendios, plagas, etc. Esto se debe a que cuando se extingue una especie otras pueden ocupar su espacio en el ecosistema, ya que no se afecta de manera grave a las comunidades. Un ecosistema más productivo es aquel que produce más cantidad de biomasa en un tiempo determinado.



Figura 3. A la izquierda, un arrecife que ejemplifica a un ecosistema con gran diversidad, y a la derecha, un bosque de coníferas con una menor riqueza de especies; esto es, muchos individuos de la misma especie, pero pocas especies distintas.

Diversidad funcional

Cada especie tiene un lugar funcional en el ecosistema; al conjunto de esas diferentes tareas se le denomina diversidad funcional. El papel único que desempeña una especie en el ecosistema se llama nicho, y éste incluye dónde vive, qué consume, quién lo consume y cómo interactúa con los factores bióticos (otros organismos) y abióticos (factores como la temperatura, la humedad, la latitud y la altitud). El nicho no es el hábitat, son las necesidades

particulares de una especie, como: cuánto espacio requiere, cuánta agua y radiación solar necesita, qué temperaturas tolera, etc. Existen especies generalistas que tienen nichos muy amplios y variables, es decir que pueden vivir en diferentes lugares y comer una amplia variedad de alimentos (ej. las cucarachas) y especies especialistas que son poco tolerantes a cambios en el ambiente y cuya alimentación es restringida (ej. las salamandras). En condiciones estables, una especie especialista tiene menos competencia por los recursos, pero ante cambios bruscos del entorno, las especies generalistas tienen mayor oportunidad de sobrevivir.

Los nichos también se pueden clasificar por el papel que desempeña una especie en el ecosistema, por ejemplo especies nativas, exóticas, indicadoras, fundadoras o clave (figura 4). Las especies nativas son las que viven normalmente en un ecosistema, mientras que las exóticas son las introducidas o que llegaron al ecosistema por migración. A veces pensamos que las especies exóticas son perjudiciales para el entorno, pero muchas de ellas han sido introducidas por el humano con el objetivo de brindar servicios que resultan muy valiosos, ejemplo de ello son la mayoría de los cultivos y el ganado.



Figura 4. Ejemplos de especies particularmente importantes para su ecosistema. El teporingo es una especie endémica; el tiburón, una especie clave, ya que elimina a los organismos enfermos o débiles; el elefante es una especie fundadora porque modifica el ecosistema derribando árboles; mientras la rana es una especie indicadora, pues su presencia o ausencia indica la salud del ecosistema, por su sensibilidad ante daños en el mismo.

Por otra parte, las especies indicadoras son aquellas que nos permiten conocer el estado de un ecosistema; se eligen por ser muy sensibles a los cambios en las condiciones ambientales, como por ejemplo las mariposas, las aves y los anfibios. Las especies fundadoras permiten el establecimiento de otras especies en nuevos lugares, como los elefantes y los castores, que modifican el ambiente, o los murciélagos y aves, que llevan semillas a zonas deforestadas. Finalmente, las especies clave de los ecosistemas son las que tienen un efecto fundamental en el control del tipo y cantidad de otras especies, como por ejemplo los polinizadores, o los depredadores superiores, como los cocodrilos y los tiburones.

Además de los nichos de cada especie, en esta diversidad funcional también se incluyen procesos que permiten el reciclaje de materia y el flujo de energía en los ecosistemas. El reciclaje de materia y energía ocurre mediante las redes tróficas o alimenticias (figura 5); este tipo de diversidad es muy importante porque es la que establece límites al tamaño de las poblaciones e influencia la capacidad de las especies para sobrevivir y reproducirse. Esto ocurre por medio de la contienda entre especies por los recursos y por no ser depredados; a ello se debe que estas interacciones participan como agentes de selección natural.

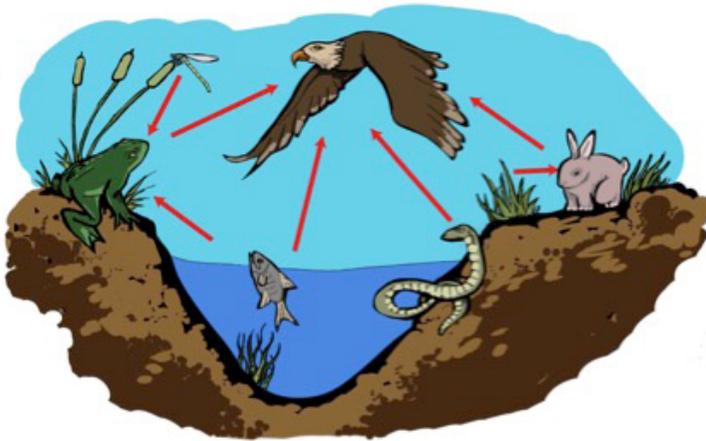


Figura 5. Ejemplo de red trófica, donde se observan las relaciones de depredación entre especies. Por supuesto que hay otras especies involucradas que no aparecen de manera explícita en este esquema, como otros insectos, hongos y bacterias.

Se identifican cinco tipos principales de interacciones entre especies: la competencia interespecífica, la depredación, el parasitismo, el mutualismo y el comensalismo. La competencia interespecífica ocurre cuando los miembros de dos o más especies interactúan para tener acceso a los mismos recursos limitados, como la comida, la luz o el espacio, y ocurre cuando

los nichos se traslapan. La depredación surge cuando un miembro de una especie (el depredador) se alimenta directamente de otra especie, conocida como presa. Los depredadores pueden ser herbívoros, carnívoros u omnívoros, según su tipo de alimentación. Por otro lado, en el parasitismo, el miembro de esa especie se alimenta del cuerpo o la energía producida por otro organismo, llamado hospedero, que usualmente vive sobre o dentro de él. En contraste, en la relación conocida como mutualismo dos o más especies se benefician de su interacción de manera recíproca, para conseguir alimento, refugio o algún otro recurso. En las relaciones antes mencionadas, generalmente ocurre una coevolución donde ambas especies sufren modificaciones mutuamente durante su relación; por ejemplo, las presas son rápidas, pero también los depredadores. Finalmente, en el comensalismo sólo una especie se beneficia, como los musgos y las orquídeas, plantas epífitas que crecen sobre los troncos de los árboles sin causarles daño ni provecho.

Para que puedan subsistir dos especies que comparten un mismo hábitat y que tienen nichos semejantes, generalmente sucede que se van especializando para repartirse los recursos. Además, considerando que los recursos son limitados, las poblaciones de cada especie ven limitado su crecimiento por la disponibilidad de los mismos. Las poblaciones sólo pueden crecer hasta la capacidad de carga de dicho ecosistema, ya que si la superan pueden colapsar. Los humanos, como cualquier otra especie, estamos sujetos a estas mismas reglas, aunque a veces lo olvidamos. Mediante las tecnologías, como los fertilizantes o la conservación de alimentos, hemos aumentado nuestra capacidad de carga, pero ésta no puede incrementarse infinitamente, y al seguir creciendo nuestra población y demanda de recursos, ponemos en riesgo no sólo a otras especies sino a nosotros mismos.

Diversidad genética

Un factor importante para la sobrevivencia de una población es su diversidad genética, otro de los componentes de la biodiversidad. Cuando una población posee mayor variación genética tiene más oportunidades para sobrevivir a los cambios ambientales (figura 6). La variación genética surge por medio de diferentes procesos, como las mutaciones y la recombinación durante la reproducción sexual. Las mutaciones son cambios al azar en las moléculas de ADN que pueden ser heredadas a la descendencia. Las mutaciones a su vez surgen por errores durante la replicación de las células (el proceso de generar una copia completa de toda la información genética de una célula para generar otras nuevas), por elementos mutágenos (compuestos químicos o radiación ultravioleta o gamma) o por cambios químicos en el ADN.



Figura 6. Ejemplo de diversidad genética en el maíz, donde se pueden observar distintos tamaños, formas y colores de mazorcas.

Durante la reproducción sexual los cromosomas que van a dar origen a las células sexuales se eligen al azar de entre los alelos (dos en el caso del humano), y además se recombinan entre ellos; es decir que los cromosomas intercambian múltiples fragmentos entre partes semejantes, generando así nuevas combinaciones. Esto da como resultado que cada uno de los óvulos o espermatozoides de un mismo organismo sean distintos y que al combinarse con el de la pareja se producen nuevas combinaciones, diferentes a las de sus padres, en un proceso continuo de generación de variantes dentro de la población.

Luego de la generación de variabilidad sigue el proceso de selección natural, en el cual los individuos más aptos son los que sobreviven y tienen mayor posibilidad de reproducirse, lo que transfiere a las nuevas generaciones los genes que confieren la adaptación. Ocurre así un posible ajuste de las poblaciones ante los cambios, al tener esta reserva de variantes dentro de la población. Sin embargo, es importante considerar que la adaptación mediante la selección natural tiene límites; por ejemplo, que nuestros pulmones se adapten a la contaminación del aire no es algo probable, debido a que la selección natural sólo puede actuar sobre las características genéticas que preexisten en la población o las que surgen aleatoriamente por mutaciones, pero no crea nuevas características favorables sólo por necesidad. Y entre más drástico sea el cambio, menos probable es que existan individuos con la capacidad para resistirlo. En segundo lugar, la posibilidad de adaptarse de una población está limitada por su capacidad reproductiva, esto es, si una población se reproduce rápidamente se pueden generar variantes con mayor frecuencia y la especie se puede adaptar también en corto tiempo, como las bacterias o mosquitos, mientras que las especies que requieren más tiempo para reproducirse también lo requieren para adaptarse.

El ambiente cambia de manera constante y las poblaciones tienen que ajustarse continuamente a las nuevas condiciones, migrar si les es posible a otros ambientes más favorables, pues se extinguirán si no logran adaptarse. Entendemos por adaptación los cambios en las características estructurales, fisiológicas o de comportamiento que son controlados genéticamente y que le permiten a un organismo sobrevivir o reproducirse ante ciertos cambios en las condiciones ambientales. La migración es el movimiento de poblaciones hacia áreas geográficas específicas; pero para que una especie pueda migrar requiere de corredores biológicos: espacios libres de ciudades o de accidentes geográficos que permiten la comunicación entre distintas áreas naturales.

La evolución mediante la selección natural implica la sobrevivencia del más apto, no del más fuerte como generalmente se piensa, sino del que produzca más descendencia. Otro error común es creer que los organismos desarrollan las características que necesitan o desean, así como que la evolución es un proceso proyectado o bien que lleva a la perfección. Hay que recordar que la base de la selección es la variabilidad genética y que ésta surge al azar, por lo cual los cambios no se dan por necesidad, deseo, un plan predefinido o un objetivo de perfección. También es muy importante notar que la evolución ocurre cuando la selección natural cambia las características genéticas de la población a través de varias generaciones. Son las poblaciones más no los individuos los que evolucionan.

Si la población de una especie es demasiado pequeña, la especie se considera en peligro, ya que es muy probable que se vea afectada por endogamia, lo cual reduce la variabilidad genética, por un lado, y por el otro aumenta la probabilidad de que se expresen genes defectuosos en la población que afecten su supervivencia a largo plazo.

Diversidad de ecosistemas

El último componente de la biodiversidad es la diversidad de ecosistemas. Un ecosistema es un conjunto dinámico de comunidades de seres vivos y su medio no viviente, que interactúan como una unidad funcional. Un ecosistema está formado por una parte biótica (viva), como son las plantas, los animales, los microorganismos, etc., y una parte abiótica (no viva), como son el agua, el aire, los nutrientes, el suelo, la radiación solar, etc. Los ecosistemas no sólo están formados por un conjunto de factores, también son importantes las relaciones entre ellos, entre los organismos vivos y su ambiente, considerando los flujos de materia y energía.

Los ecosistemas se pueden clasificar en terrestres, acuáticos e intermedios. Algunos ejemplos de ecosistemas son los desiertos, las praderas, los bosques, los océanos, los lagos, los ríos y los humedales (figura 7). Todos los ecosistemas son importantes y tienen una distribución específica en el planeta que depende de la latitud, altitud, orografía, cercanía a cuerpos de agua, corrientes marinas, vientos, microclimas, tipo de suelo, etc. Cada uno de ellos mantiene una diversidad de organismos única y aporta servicios ambientales y económicos particulares. Por ejemplo, los bosques brindan varios servicios ambientales muy importantes: reducen la erosión del suelo, purifican el agua y el aire, modifican el clima local y son el hábitat de muchos organismos. Entre los servicios económicos que brindan se encuentran abastecer de pulpa para papel y madera, brindar sitios de recreación, producir empleos, convertirse en sitio de pastoreo, etcétera.



Figura 7. Ejemplos de ecosistemas; el desierto a la izquierda, que contrasta con la selva a la derecha. Las condiciones bióticas y abióticas son claramente distintas.

Proteger especies en peligro de extinción puede ser emblemático y en ocasiones útil, pero es aún más importante proteger ecosistemas, ya que al hacerlo se protege a muchas más especies en el proceso. Para proteger a los ecosistemas es importante que existan mapas de los ecosistemas globales, que además cuenten con un inventario de especies y servicios ambientales. Se deben localizar y proteger los ecosistemas en mayor riesgo y restaurar los ecosistemas dañados, pero como no podemos proteger a todo el planeta porque necesitaríamos espacio para las ciudades, nuestros cultivos, etc., ¿cómo definir qué partes son más importantes de proteger? Existen regiones de mayor diversidad en el planeta, regiones con mayor riqueza de especies de plantas y animales que se encuentran en peligro de extinción, son éstas las que deben protegerse con especial esmero. México es un país megadiverso, esto significa que posee una gran diversidad de especies, muchas de ellas endémicas, resultado de una igualmente gran diversidad de ecosistemas que hay en el país, situación que nos hace responsables de su cuidado.

Acciones para proteger la biodiversidad

Una vez que comprendimos la complejidad e importancia de las interacciones entre los seres vivos y su ambiente, es importante recapacitar en cómo proteger la supervivencia de las especies y el equilibrio entre ellas. La especie que tiene la mayor capacidad de afectación para la biodiversidad es la humana; su tecnología, sus necesidades de abastecimiento y sus intereses económicos son una combinación muy poderosa para provocar cambios en los ecosistemas. Somos los únicos que podemos tomar acciones conscientes de conservación, como por ejemplo, aprender más sobre las poblaciones de nuestro lugar de residencia o los sitios que visitamos, pero también debemos evitar perturbarlas cuidando nuestro paso por cualquier carretera mientras manejamos, evitando tirar basura o provocar ruido o estrés a los animales de alguna zona, así como el riesgo de incendios. Procuremos no introducir especies exóticas ni afectar las crías de los animales, desalentar la caza deportiva y denunciar toda actividad de maltrato (Línea Verde, 2016); realizar un consumo consciente de energía y recursos; es importante recordar que para obtenerlos se requiere utilizar algunos que compartimos con otras especies, por lo que debemos asegurarnos de que provengan de recursos renovables, obtenidos de manera sustentable (que se repongan a la misma velocidad que se consumen); participar en proyectos de conservación y protección de la vida silvestre y del entorno, y sobre todo, conocer y preocuparse por comprender nuestro papel en la biodiversidad y difundir este conocimiento.

Reflexiones finales

En este capítulo hay tres puntos muy importantes que queremos dejar claros. El primero es que la biodiversidad no sólo es la existencia de muchas especies en un ecosistema, sino la variedad entre los miembros de la población de una especie y también en las funciones que realizan esas especies en el entorno, así como la existencia de diversos ecosistemas que interactúan en un mismo lugar. El siguiente es que el modo como se relacionan los componentes de la biodiversidad es extremadamente complejo, en diferentes escalas que van desde los cambios en los genes de un individuo hasta la interacción de los seres vivos con el medio, pasando por las cadenas alimenticias y otros tipos de relación; esta complejidad mantiene su equilibrio mediante un delicado balance de influencias, relaciones e intercambios. Finalmente, que estos complejos sistemas tienen un grado sorprendente pero limitado de adaptación a cambios del entorno, y que la actividad humana con facilidad los lleva fuera de este límite. La importancia del cuidado de estos balances no sólo radica en la responsabilidad ética de la conservación de la naturaleza o en la protección

de los animales y plantas, sino en el propio bienestar y supervivencia humanos, pues dependemos de los recursos renovables para subsistir. Esperamos haber expuesto los elementos necesarios para comprender el significado de biodiversidad, así como su importancia, a fin de poder actuar de manera adecuada e informada para protegerla.

Comentarios de reflexión

A continuación proponemos algunos comentarios de reflexión para afianzar y aplicar la información de este capítulo (Chiras, 2014).

1. Es importante utilizar el pensamiento crítico (contrastar evidencias de calidad) para analizar la siguiente frase: “La extinción es un proceso natural. A lo largo de la historia muchos animales y plantas se han extinguido, con y sin humanos. Por tanto, no tenemos por qué preocuparnos por eso”.
2. También, realizar una lista en la que se describan los principales factores que contribuyen a la extinción de especies, y cuáles son los más importantes.
3. Los cazadores de trofeos generalmente matan a los machos dominantes de una población. Los predadores naturales, por otro lado, se alimentan de los animales enfermos, débiles y viejos. ¿Cómo afectan de manera distinta a las poblaciones estos tipos de depredación?
4. Desde un puesto importante en el gobierno, cómo mostrar la importancia de preservar a las especies.
5. Usando el ejemplo del ajolote, cómo podrían identificarse los diversos componentes de la biodiversidad.
6. En un ecosistema cercano, cómo podrían relacionarse los conceptos aprendidos en este capítulo: tipos de nicho, relaciones entre especies y servicios ambientales.

Glosario

ADN: Ácido desoxirribonucleico; es la molécula que contiene la información genética.

Abiótico: Son los factores inertes del ecosistema, por ejemplo la temperatura, la humedad, la radiación solar, etcétera.

Adaptación: Características de miembros de una población que les permiten sobrevivir y reproducirse en un entorno que ha cambiado.

Aislamiento geográfico: Sucede cuando las condiciones del hábitat impiden el contacto entre dos grupos de miembros de una especie, provocando que cada uno se vaya adaptando de manera independiente a las condiciones de cada sitio, con lo que dan lugar, en ocasiones, a especies distintas.

Aislamiento reproductivo: Sucesos, características o procesos que impiden la cruce entre individuos de una misma especie, lo cual forma parte de los procesos de especiación.

Anfibio: Animal vertebrado de sangre fría que pasa la primera etapa de su vida en el agua y posteriormente utiliza sus pulmones para respirar fuera de ella.

Biodiversidad: Es la variedad de organismos de un ecosistema cuyas características se encuentra en equilibrio dinámico y le permiten adaptarse e interactuar como una unidad. Pueden ser distintas especies que desempeñan diferentes papeles dentro del ecosistema; una variedad de individuos de cada especie; distintas funciones de cada especie dentro de un ecosistema, o una diversidad de ecosistemas interactuando entre sí.

Biomasa: Es todo material que forma parte o ha sido generado por los seres vivos.

Biótico: Es la parte viva del ecosistema, por ejemplo plantas, animales, bacterias, etcétera.

Capacidad de carga: Es el mayor número posible de individuos de una misma especie que podría llegar a vivir a un sitio en condiciones particulares.

Carnívoros: Especies que requieren alimentarse principal o exclusivamente de animales.

Comensalismo: Tipo de mutualismo donde sólo una de las especies obtiene beneficios y la otra, aunque no se ve perjudicada, no recibe nada a cambio.

Competencia interespecífica: Lucha entre diferentes especies por obtener los recursos de un mismo ecosistema.

Comunidad: Conjunto de poblaciones que comparten un hábitat.

Depredación: Relación entre especies donde una depende de la caza de la otra para alimentarse y sobrevivir.

Ecosistema: Es el conjunto de elementos bióticos y abióticos que interactúan en un lugar común.

Especiación: Proceso por el cual surge una nueva especie, generalmente por la acumulación de cambios en los miembros de una población, que la transforman a un grado tal que ya no pueden cruzarse con otras poblaciones.

Especie: En individuos con reproducción sexual, se define como el conjunto de organismos cuyos miembros pueden ser padres de hijos fértiles al cruzarse entre sí.

Evolución: Proceso por el cual una población cambia a través de las generaciones; este proceso ocurre por selección natural sobre la variabilidad de individuos.

Extinción: Desaparición definitiva de una especie.

Genes: Son la unidad mínima de información funcional del ADN, que da origen a un ácido ribonucleico (ARN) o proteína.

Hábitat: Es el espacio físico donde viven especies en conjunto.

Herbívoro: Especie que basa su alimentación en vegetales.

Mutación: Cambio heredable en el material genético.

Mutualismo: Interactuación de especies con el fin de ganar capacidad de supervivencia.

Nicho: Conjunto de características que requiere un organismo para sobrevivir; esto incluye, por ejemplo, rango de temperatura, humedad, alimentación, depredadores, etcétera.

Omnívoro: Especie que pueden nutrirse tanto de plantas como de animales.

Parasitismo: Relación que se da entre especies, donde una basa su supervivencia en los recursos de otra.

Población: Los miembros de una especie que habitan una región particular.

Recombinación: Intercambio de segmentos de ADN, que permiten generar una gran diversidad genética.

Redes tróficas o alimenticias: Relaciones entre especies de un ecosistema que permiten el flujo de materia y energía; son relaciones entre presas y depredadores.

Selección natural: Proceso por el cual los más aptos se convierten en la población mayoritaria de una especie, ya que poseen mayor capacidad reproductiva o de sobrevivencia.

Servicios ambientales: Aportaciones de los ecosistemas a las especies que los habitan.

Referencias

Biodiversidad Mexicana (2015), *Servicios Ambientales*. Recuperado el 18 de junio de 2016, de <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/serviciosam.html>

Chiras, D. D. (2014), *Environmental Science*, 10a. ed., Boston, MA, Jones & Bartlett Learning.

Conanp (2009), Monitoreo del Ajolote *Ambystoma altamirani* en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Recuperado el 18 de junio de 2016, de <http://www.conanp.gob.mx/acciones/fichas/zempoala/info/info.pdf>

IUCN (2015), *The IUCN Red List of Threatened Species*. Recuperado el 18 de junio de 2016, de <http://www.iucnredlist.org/details/59049/0>

Línea Verde (2016), *¿Qué podemos hacer para conservar la Biodiversidad?* Recuperado el 18 de junio de 2016, de <http://www.lineaverdeceutatra-ce.com/lv/guias-buenas-practicas-ambientales/biodiversidad/que-podemos-hacer-para-conservar-la-biodiversidad.asp#>

NaturaLista (2013), *Ajolote de Zempoala*. Recuperado el 18 de junio de 2016, de <http://conabio.inaturalist.org/taxa/26742-Ambystoma-altamirani>.

Plan Verde (2011), *Suelo de conservación ecológica del D.F.* Recuperado el 18 de junio de 2016, de <http://www.planverde.cdmx.gob.mx/ecotips/39-suelo-de-conservacion/525-el-suelo-de-conservacion-ecologica-del-distrito-federal.html>.

Miller, G. T. y S. E. Spoolman (2014), *Living in the Environment: Concepts, Connections and Solutions*, 18a. ed., Stanford, CT, Cengage Learning.

Licencias de fotografías

Las figuras utilizadas en este capítulo cuentan con licencia de uso libre, disponible en: <https://creativecommons.org/licenses/>

Energía

Christopher Heard

¿Qué es la energía?

Es un atributo de los elementos físicos, que pueden ser objetos, materiales o sustancias (por ejemplo líquido o gas), o pueden ser fotones, o una onda. Todos estos elementos pueden contener energía, pero la energía no existe por sí sola.

La energía puede adoptar diversas formas:

- *Energía cinética*: Movimiento organizado/ ordenado, por ejemplo un coche o una pelota en movimiento. La energía cinética es igual a la mitad de su masa, multiplicada por el cuadrado de su velocidad: $\frac{1}{2} mv^2$.
- *Energía cinética desordenada (moléculas en movimiento aleatorio), que percibimos como calor*: Cada molécula tiene masa y velocidad, pero en conjunto, si no está fluyendo (en el caso de líquidos y gases) o trasladándose (en el caso de los sólidos), las direcciones de movimiento son aleatorias y por lo tanto la energía cinética es desordenada.
- *Energía latente*: Cuando una sustancia cambia de sólido a líquido o de líquido a gas se dice que tiene un cambio de fase. Durante un cambio de fase hay un cambio de organización y de la manera como operan las fuerzas entre partículas. Este cambio de organización no cambia la velocidad de las partículas, sino la manera como interactúan. Dicho cambio necesita energía en el caso de ir de una manera más ordenada a una menos ordenada (por ejemplo de líquido a gas, cuando hierve el agua).
- *Energía de radiación electromagnética*: Conocemos la radiación electromagnética como fotones, microondas, radiación térmica, luz, entre otras. Se llama radiación electromagnética porque su energía se da en forma de oscilaciones en los campos magnéticos y eléctricos. A menor longitud de onda, mayor energía por fotón. Por ejemplo, los fotones de luz infrarroja tienen una longitud de onda de alrededor de 700 nm y 2.84×10^{-19} Joule de energía en cada fotón, mientras

la luz ultravioleta tiene una longitud de onda de alrededor de 400 nm y 4.97×10^{-19} Joule en cada fotón.

- **Energía en ondas compresivas o gravitatorias:** Las ondas acústicas son ondas compresivas en el material que transmite el sonido, mientras las ondas oceánicas son oscilaciones de la superficie del agua del mar y por lo tanto gravitatorias.
- **Energía potencial:** La energía potencial es energía almacenada normalmente en un objeto, que al ser movido con una fuerza equis se acelera y recupera la energía en forma de energía cinética. Las fuerzas pueden ser, por ejemplo, gravitatorias o elásticas.
- **Energía eléctrica:** Esta es la energía potencial derivada de las fuerzas entre partículas o cuerpos con cargas electrostáticas. La transmisión de energía por medio de cargas electrostáticas (usualmente en forma de electrones) a través de un potencial de fuerza electromotriz (medido en voltaje) es lo que comúnmente se conoce como electricidad, la misma que utilizamos en un hogar o en una fábrica.
- **Energía química:** En los enlaces que forman algunos elementos químicos para constituir moléculas existe energía potencial. Cuando se llevan a cabo reacciones químicas estos enlaces pueden absorber o liberar energía; esta energía puede suministrarse o liberarse de distintas maneras. Muchas veces se suministra o se libera en forma de calor (energía cinética desordenada, de moléculas en movimiento), pero también puede hacerlo en forma de energía eléctrica o de fotones electromagnéticos. Por ejemplo, en la batería de un celular las reacciones químicas absorben o liberan electrones mediante un potencial electromotriz, o en una película fotográfica los fotones de luz visible ocasionan reacciones químicas que permiten capturar una imagen.
- **Energía nuclear:** De manera semejante a las reacciones químicas existen las reacciones nucleares, donde un elemento se transmuta en otro mediante la liberación o absorción de partículas subatómicas: normalmente neutrones y protones, pero también electrones (partículas beta en la terminología de las reacciones nucleares). Usualmente la energía liberada o tomada para estas reacciones es el calor (energía cinética de las partículas involucradas).
- **Energía de superficie, etc.** Existen otras formas de energía potencial relacionadas con fenómenos como la formación de superficies de sólidos y líquidos.

Flujo y transformación de la energía

De modo natural el calor fluye de caliente a frío, y la energía tiende a ir de manera ordenada o desordenada.

Todos hemos experimentado cómo una taza de café caliente con el tiempo baja su temperatura al perder calor en su alrededor. En este caso las moléculas del café tienen velocidades más altas que las de la pared de la taza y del aire en el exterior de la taza, por lo tanto tienen más energía cinética. A medida que golpean contra las moléculas de la pared de la taza y a su vez ellas chocan con las del aire que se encuentra fuera de la taza, se transfiere esta energía cinética a moléculas con menos energía cinética.

Se puede ejemplificar la energía cinética ordenada como un volante girando a una velocidad fija. Esta energía puede usarse para realizar un trabajo útil: trasladar un vehículo o subir un peso, por ejemplo. Sin embargo, si nada más se deja el volante girando sobre su eje, por muy bien lubricado que esté la fricción eventualmente lo parará y la energía ordenada se habrá convertido en calor (energía cinética desordenada). Este proceso es representativo de la inevitable degradación en la calidad de la energía.



Figura 1. Flujo y transformación de la energía

Es posible obtener energía ordenada a partir de energía desordenada, pero a un costo; este costo es que una porción de la energía desordenada se degrada todavía más para terminar aún más desordenada y con menor temperatura. Esto es lo que pasa en una central de generación eléctrica basada en la combustión. Una reacción química del combustible con el oxígeno del aire libera energía cinética desordenada a un alto nivel de velocidad de las moléculas (temperatura alta), y se usa para hervir agua y generar vapor. El vapor pasa por una turbina y es condensado para volverse otra vez agua. La condensación es llevada a cabo usando agua fría del medio ambiente (un río, a su vez enfriado por aire en una torre de enfriamiento). El proceso de condensación hace que el calor degradado y de desecho llegue a la temperatura más baja posible, y por lo tanto maximiza la porción del calor de la combustión que se puede recuperar como energía cinética ordenada.

La fracción de la energía en forma de calor que se puede convertir en energía ordenada es una función de las temperaturas absolutas de suministro y de desecho o rechazo, como lo describe la ecuación 1. Por convención, a la energía ordenada se le llama ‘trabajo’.

$$\eta = \frac{W}{Q \text{ calor motriz}} = 1 - \frac{T \text{ ambiente}}{T \text{ calor motriz}}$$

Donde

η es la eficiencia de conversión de calor a trabajo.

W es el trabajo

Q es el calor

T es la temperatura absoluta: indicada en una escala cuyo cero es el punto donde las moléculas y los átomos no tienen movimiento alguno (-273.15°C).

Máquinas de trabajo

Se llama ‘Maquinas de trabajo’ a las máquinas que usamos para convertir el calor en energía ordenada (trabajo). En la ecuación 1 se muestra el máximo posible de trabajo que se puede obtener del calor. En la práctica se usa una amplia diversidad de máquinas de trabajo, dependiendo de la fuente de energía y de su aplicación, por ejemplo: transporte, generación eléctrica o fuerza mecánica industrial.

Características de las fuentes de energía

Existen muchas maneras de clasificar y caracterizar las fuentes de energía. Aquí se describen varias de ellas que pueden ser de utilidad.

Existen también consideraciones de tamaño (en varios sentidos), si es renovable, magnitud y tipo de impacto ambiental, si es concentrada o dispersa, si se explota de manera centralizada o distribuida, si es dispatchable, y cómo impacta en las redes de transmisión y/o distribución.

Tamaño

El tamaño de un recurso energético puede entenderse como la cantidad de energía disponible en el ámbito mundial, o bien a si existe una cantidad

determinada en algún lugar del planeta. El tamaño también puede referirse a las instalaciones donde se explota un recurso – es a pequeña escala o en grandes proporciones.

Renovable

La consideración de si una fuente de energía es renovable está en función de la escala de tiempo con la cual se hace la consideración. Es normal considerar si se puede renovar en periodos comparables con las generaciones de seres humanos. Por lo tanto, no se pueden considerar renovables los combustibles fósiles que se han consumido en un lapso de quinientos años, y que tardaron en formarse alrededor de quinientos millones de años, mientras un yacimiento geotérmico que se explota en un periodo de decenas de años puede recuperar su calor en un tiempo de similar magnitud. Puede resumirse lo anterior diciendo que una fuente de energía renovable es esencialmente inagotable y no consume recursos finitos.

Impacto ambiental

La explotación de todo tipo de fuentes de energía tiene un impacto ambiental de menor o mayor importancia, tanto local como mundial. El uso de combustibles fósiles no sólo tiene un impacto global por la producción de gases de efecto invernadero, sino también local por, se dice, causar esmog y tizne.

Concentración

Una fuente de energía como el viento es dispersa aun en lugares de altos vientos, comparada con un combustible. Un kilogramo de madera equivale aproximadamente a diez horas de viento en un metro cuadrado del Istmo de Tehuantepec (uno de los mejores lugares del mundo para la generación eléctrica a partir del viento). Es necesario tener en cuenta que esta relación es sólo de la energía disponible y no incluye los diferentes métodos de explotación.

Explotación centralizada o distribuida

Normalmente se utilizan combustibles fósiles para generar electricidad en instalaciones centrales con capacidad de cientos o hasta de miles de megawatts, mientras la generación de electricidad por medio de paneles solares sólo puede aprovecharse en lugares (casas o comercios) con capacidad de cientos o tal vez miles de watts.

Dispatchable

Dispatchable es un adjetivo técnico que permite saber si es posible disponer de una fuente de energía en un momento dado (por ejemplo un combustible o el calor geotérmico), o bien, como la energía eólica, sólo se obtiene en momentos específicos, en este caso cuando sopla el viento, aunque este ejemplo no es exactamente correcto porque se puede pronosticar su disponibilidad.

Redes de transmisión y distribución

Las diversas fuentes de energía tienen diferentes características para su entrega al punto de consumo de la energía. Se pueden transportar combustibles líquidos o en forma de gas por ductos de manera eficiente y barata a cambio de los combustibles sólidos que requieren de carros de tren o de camiones de carga. Se consume la electricidad en cuanto es generada; si se requiere almacenar, es necesario convertirla de nuevo, ahora en otro tipo de energía, por ejemplo energía química potencial, en baterías, o energía potencial gravitatoria, como agua bombeada a una presa de gran altura.

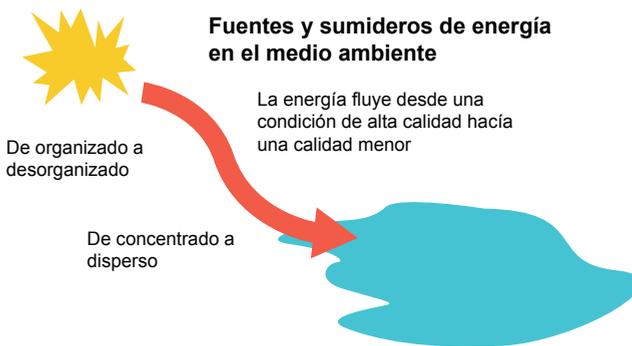


Figura 2. Calidad y flujo de energía

La relación entre el medio ambiente y el uso de energía

¿Cuántas fuentes diferentes de energía existen en el medio ambiente?

Son varias; ejemplo de ellas son:

- Química: Combustibles –leña, paja, aceites, petróleo, carbón mineral, breas, etcétera.

Tanto los combustibles renovables (la leña) como los no renovables o fósiles (carbón mineral o petróleo) son ubicuos. La leña es usada cotidianamente para cocinar en muchos hogares del mundo.

En 2014, en México la leña constituyó el 2.88% de la energía producida. La leña no necesariamente es una fuente de energía renovable, si proviene de un bosque donde se permite que se renueve naturalmente o se siembran nuevos árboles, puede considerarse renovable; sin embargo en muchos casos su explotación no es sostenible debido a que, o la cantidad recogida o talada excede lo que puede soportar el ecosistema, o no se hace lo necesario para que el ecosistema reponga la biomasa extraída.

¿Qué es la energía fósil? Es energía química acumulada en la corteza terrestre, en trampas geológicas. Generalmente se considera que es de origen biológico –restos de flora y fauna depositados en condiciones anaerobias que pasaron por procesos de presión y temperatura tales que los convirtieron en carbón mineral, petróleo o gas natural–. El periodo de acumulación fue de aproximadamente 500 millones de años, contra un periodo de explotación de entre 200 y 2 000 años.

El petróleo migra de donde se formó hasta que sale a la superficie (lagos de brea o manantiales de petróleo, o en el mar, fugas naturales) o bien queda atrapado en un yacimiento. Un yacimiento está formado de roca matriz porosa y una capa de roca impermeable. No se encuentra en cavernas. Del volumen de la roca matriz del yacimiento, una fracción son poros que contienen petróleo y solamente una fracción es recuperable. El efecto “popote” existe de manera muy limitada. Si no hay permeabilidad no puede fluir el petróleo; por ejemplo, el yacimiento de Chicontepec tiene aproximadamente 8% de porosidad pero baja permeabilidad. Como consecuencia, la recuperación del hidrocarburo con tecnología convencional es de alrededor de 8%, entonces, del volumen de la roca matriz 0.64% es petróleo recuperable. En el yacimiento de Cantarell, en el Golfo de México, la porosidad es del orden de 3 a 5%; sin embargo, puede recuperarse una proporción mayor del petróleo ahí almacenado.

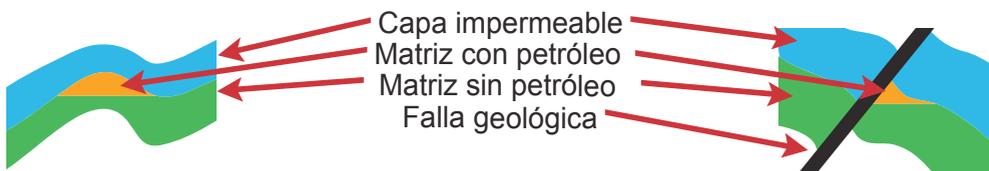


Figura 3. Trampas geológicas para el petróleo

El gas natural migra de donde se formó hasta que sale a la superficie o se queda atrapado en un yacimiento: frecuentemente asociado con el petróleo.

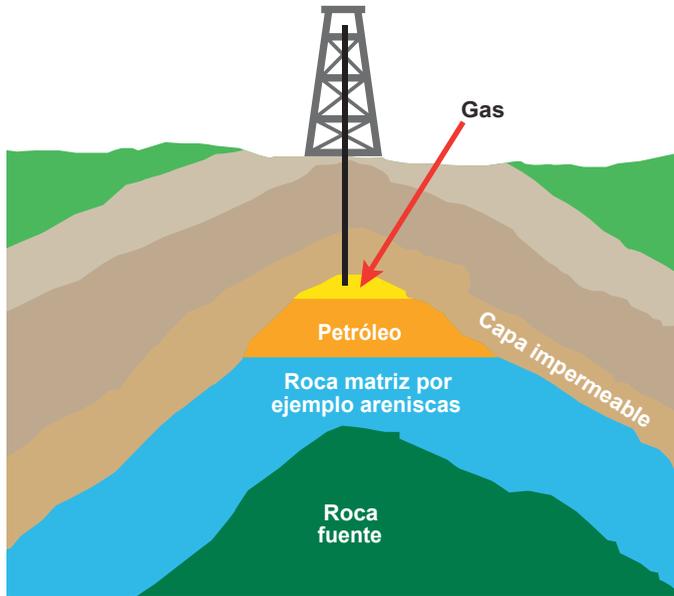


Figura 4. Trampa de gas natural asociado con petróleo

En el caso mexicano, durante 2014 88% de la energía producida fue de hidrocarburos fósiles (petróleo, condensados de gas natural y gas natural). Estos combustibles no son renovables y contribuyen directamente al crecimiento de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Los combustibles fósiles líquidos y gaseosos tienen muchas ventajas prácticas: se encuentran de manera concentrada en yacimientos donde pueden fácilmente ser transportados por ductos a refinerías centralizadas a bajo costo. El procesamiento (refinación) es un sistema tecnológico maduro y eficiente. Los productos refinados también se transportan mediante una extensa red de ductos por todo el país. Ofrecen energía de una forma compacta y transportable que es particularmente apta para sistemas de transporte como el automóvil, el autobús y el camión de carga. Su alta densidad energética permite a los vehículos con motor de combustión interna tener una autonomía del orden de cuatrocientos o más kilómetros entre cada carga de combustible (por ejemplo diésel o gasolina). El almacenamiento en grandes cantidades es costumbre en lugares estratégicos del país, por lo tanto, para algunas aplicaciones se requerirá un cambio importante de infraestructura y diferentes hábitos de uso para cambiar a otras fuentes de energía con menor producción de gases de efecto invernadero.

Cuando se utilizan combustibles como combustóleo pesado o gas natural para la generación de electricidad, es usual encontrar que se emplean en plantas centrales de gran capacidad (miles de MW) y alta eficiencia. Estas plantas son sistemas dispatchables, pero con la limitante de que su proceso de arranque y frenado son lentos (tardan horas). Para la administración de un sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica, a veces es necesario que se operen estas plantas de tal modo que, aunque no generan energía, sí están rodando las calderas y las turbinas en espera de suministrarla en cualquier momento que sea requerida.

Con el gas natural, otro método para generar electricidad son las turbinas de gas; con éstas el consumo es menos eficiente, pero su capacidad de respuesta es mayor ante cambios de demanda de energía eléctrica: se mide en decenas de segundos.

En ambos casos el uso de combustibles fósiles como fuente de energía para generar electricidad facilita el control y administración de una red de transmisión y distribución de energía eléctrica. Sin embargo implica grandes inversiones en líneas de transmisión y distribución desde puntos centralizados de producción hacia millones de consumidores domésticos, comerciales e industriales.



Figura 5. Cinética organizada: viento, corrientes de agua

Cinética organizada: viento, corrientes de agua

Esta fuente de energía es renovable y está disponible en muchas latitudes donde la radiación solar no es tan intensa como en las latitudes bajas.

Existen desarrollos para la explotación de corrientes de agua tanto de ríos como de la marea. Por ejemplo, en Escocia, en el Pentland Firth, entre la tierra principal de Escocia y la isla de Orkney, se estima que pueden capturarse

entre 1 y 20 GW de potencia; ésta se compara con la capacidad efectiva de generación de electricidad de todos los tipos en México que se obtuvo en 2015, que fue de 54 GW. Existe una gran variedad de diseños de turbinas marítimas, algunas similares a las eólicas pero de menor tamaño debido a la densidad mucho más alta del agua comparada con la del aire. Existen diseños de turbinas en forma de ruedas, con rodamientos circunferenciales y un orificio central para evitar daños a los peces.

- *Energía potencial gravitatoria.* La manera más conocida de explotar la energía potencial gravitatoria es mediante balsas hidroeléctricas, donde en una presa se embalsa agua de un río. Se considera que la energía eléctrica derivada de sistemas hidroeléctricos es una fuente renovable, pero esto no significa que los impactos ambientales sean despreciables. En los sistemas hidroeléctricos a gran escala se ocupan grandes extensiones de tierra y usualmente es necesario desplazar comunidades enteras (Altuna, E. & Rossini, C. F. 2008). El impacto ecológico también puede ser muy severo, pues provoca la extinción de especies de animales, plantas, peces etcétera (Bowman, R. Meyer, B. & Norton, E.).

Existen también posibilidades de formar balsas de agua de mar en estuarios, donde se acumula agua durante la marea alta y se descarga durante la marea baja, ambos sentidos a través de turbinas para generación eléctrica (figura 6).

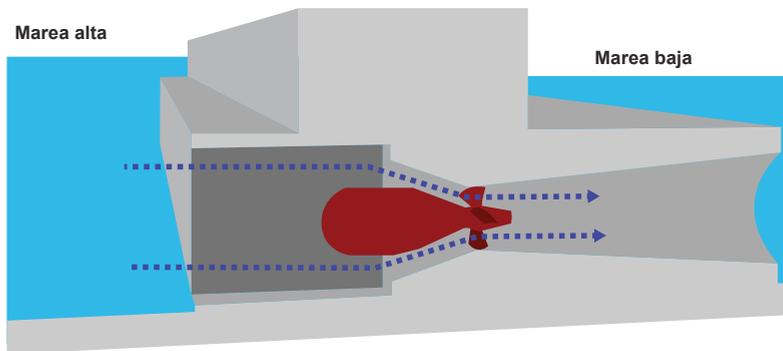


Figura 6. Sistema de turbina con barrera para formar una balsa marítima

- *Calor geotérmico y solar.* México es un país con importantes recursos hidrotermales, es decir, yacimientos de agua y vapor a altas temperaturas y presiones que se explotan para generar energía eléctrica. Usualmente existen yacimientos a tal presión que aunque la temperatura sea alta (hasta 300°C) el agua es líquida, y en la medida que

sube del yacimiento hacia la superficie a través de pozos, una parte se convierte en vapor debido a la baja de presión, y en la superficie se reduce aún más para formar más vapor, que se usa para mover turbinas.



Figura 7 Calor y geotérmico

- *Animales de tracción:* En muchas partes del mundo todavía se utilizan animales para transporte y tracción, sobre todo en la agricultura.



Figura 8. Animal de tracción

- *Nuclear: isótopos de uranio y torio:* Las centrales de generación de electricidad basadas en la energía nuclear utilizan isótopos de uranio y de plutonio, los cuales se fisiónan; es decir, los núcleos de los átomos se parten y de esta manera liberan energía. Cuando se forma un núcleo de un átomo se puede liberar u ocupar energía, depen-

diendo del tamaño del núcleo. En general la formación de núcleos grandes a partir de núcleos pequeños libera energía hasta de un núcleo del tamaño del núcleo del hierro (número atómico 26 y peso atómico 56). Para núcleos más grandes se necesita aportar energía. En el caso del uranio, que tiene un número atómico de 92 y un peso atómico de 238, existe un isótopo con un peso de 235 que al captar un neutrón más se desestabiliza y se divide en dos partes principales más tres neutrones. Normalmente las dos partes principales son bario (número atómico 56) y criptón (número atómico 36). También se conocen otros productos, casi todos inestables y por lo tanto altamente radioactivos, con un potencial impacto ambiental muy dañino.

Recursos energéticos

¿Cuántos hay, cómo se han explotado en el pasado y cómo se explotarán en el futuro?

Carbón mineral: Desde los inicios de la Revolución Industrial se han explotado reservas de carbón mineral. Existe mucha variación en su calidad y disponibilidad. A manera de ejemplo, la figura 9 muestra algunas características de diferentes tipos de carbón mineral y madera. Antes de la explotación masiva del carbón mineral, la fuente principal de combustible industrial era la madera.

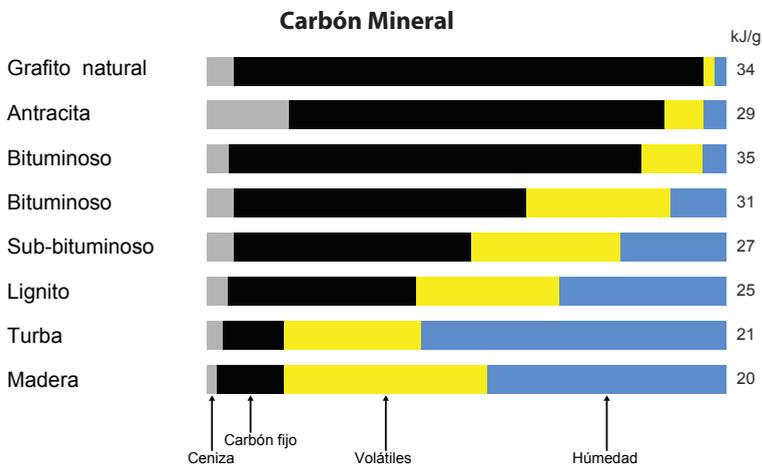


Figura 9. Propiedades como combustibles de carbón mineral y madera.

Las reservas de carbón mineral dependen de su precio y de los geólogos, aunque en años recientes varios países han ajustado hacia abajo sus estimaciones de reservas de carbón mineral. Es la fuente de energía más con-

taminante y el mayor productor de gas de efecto invernadero. Es barato si no se tiene en cuenta la contaminación ni la creación de CO₂. Se usa a gran escala en la producción de electricidad en Estados Unidos, China, Rusia, Alemania y varios otros países de Europa. Aunque hay grandes reservas, en años recientes el Reino Unido y Alemania han reducido sus estimaciones de reservas de carbón mineral en 90% y Polonia en 50%. En el ámbito mundial, desde 1990 se han reducido 25% las reservas estimadas –de 640 000 millones a 480 000 millones de toneladas–. China y Vietnam han dejado sus estimaciones de reservas sin cambio durante muchos años, aunque han extraído miles de millones de toneladas en el mismo periodo. El precio aumentó cinco veces de 2002 a 2014, sin embargo la producción no creció significativamente, lo que indica dificultades para aumentar su extracción aun con precios mucho más altos.

Petróleo: El costo de extracción de un barril de petróleo depende fuertemente del tipo de yacimiento donde se encuentre, por tanto, las reservas de petróleo y de gas natural dependen del precio del momento; por ejemplo, el petróleo en yacimientos fáciles de explotar puede costar tan poco como dos o tres dólares por barril, mientras yacimientos en el mar profundo (donde el mar tiene una profundidad de más de quinientos metros) pueden llevar a más de sesenta dólares el barril. Estos costos también cambian con el desarrollo tecnológico. En el caso de los yacimientos con poca permeabilidad, donde se usan técnicas de fractura hidráulica (*fracking*), el costo del barril se ubicaba por arriba de cuarenta dólares, pero actualmente (2016), con la presión de un precio más bajo del petróleo, se estima que se ha reducido este costo. Aun con estas advertencias, se pueden observar magnitudes generales de reservas contra consumo. En el plano mundial, el consumo anual de petróleo era de 3.5×10^{10} barriles por año en 2015 (International Energy Agency 2016) y las reservas probadas en 2014 se estimaron en 1.6×10^{12} barriles (U.S. Energy Information Administration 2016a).

Entre los diferentes tipos de petróleo que existen, la brea que se encuentra en areniscas bituminosas es de los de mayor impacto ambiental. Su extracción conlleva un proceso que consume mucha energía, porque se extrae como sólido, que se trata con vapor y/o solventes. Se usa gas natural como fuente de calor para generar el vapor necesario para el proceso. Este consumo de gas equivale a la quinta parte del valor calorífico del producto recuperado. El proceso de extracción tiene un alto impacto en contaminación del aire, el agua y los suelos, además de que interviene en la destrucción del hábitat y en la producción de gases de efecto invernadero.

Gas natural: El gas natural es uno de los combustibles fósiles que produce menos gases de efecto invernadero comparado con el carbón mineral y

el petróleo, aunque de cualquier modo produce cantidades importantes de CO_2 . Al igual que el petróleo, sus reservas disponibles son sensibles a los costos de producción y a los precios del mercado mundial. Las reservas probadas mundiales para 2014 fueron de 7.0×10^{15} pies cúbicos estándar, con un consumo anual de 1.2×10^{14} pies cúbicos en el mismo año.

Fisión nuclear: Existen suficientes recursos de combustibles nucleares como para preocuparse por su naturaleza finita; sin embargo, en la práctica, aunque la generación de electricidad a partir del calor producido por fisión nuclear no genera gases de efecto invernadero, si genera desechos o productos que tienen un alto grado de toxicidad. Estos productos necesitan ser resguardados de manera segura durante largo tiempo.

El diseño, gestión, construcción, puesta en marcha, operación y retiro de estos recursos al final de la vida útil de una planta de generación nuclear requiere de personal de alto nivel. El desmantelamiento de una planta nuclear puede costar hasta el doble de su costo de construcción. Los diseños de uso son pocos y el ciclo de aprendizaje sobre un diseño en particular se mide en decenas de años, mientras el ciclo de aprendizaje y retroalimentación sobre tecnologías fotovoltaicas y turbinas eólicas puede medirse en decenas de meses. Un proyecto para una planta de generación de energía nuclear puede tardar dos décadas o más para llegar al punto de producir su primer kWh de energía entregada a la red eléctrica. Por ejemplo, la primera unidad de la planta nuclear de Laguna Verde inició en 1975 y no entró en operación comercial hasta 1990 siendo un tipo de reactor establecido habiendo catorce en total construidas.

Uno de los riesgos en los proyectos de plantas nucleares son los cambios políticos y técnicos durante su largo periodo de construcción. Existen más de una decena de proyectos donde las plantas no se terminaron de construir y por lo tanto su capacidad de generación de energía fue cero, mientras los gastos se cuentan en miles de millones de dólares. Aun así, el costo de la electricidad producida en plantas nucleares es menor que el producido usando combustibles fósiles (U.S. Energy Information Administration 2016a).

Solar: La energía solar como fuente primaria es la fuerza motriz de otras fuentes de energía renovables, como el viento, la biomasa (mediante la fotosíntesis), gradientes de temperatura en el océano, y la hidráulica, basada en el flujo de los ríos. Frecuentemente se dice que el sol entrega a la Tierra en una hora más energía de la que la humanidad usa en un año. No obstante, en la realidad esto depende mucho del lugar, la estación del año y la tecnología empleada para aprovechar esta energía. En el caso del último punto (la tecnología), es una faceta que está cambiando rápidamente. El costo de los

sistemas de generación eléctrica a partir de la radiación solar ha cambiado enormemente y con gran rapidez en los últimos años (Feldman, D. Barbose, G. Margolis, R. Bolinger, M. Chung, D. Fu, R. Seel, J. Davidson, C. & Wiser, R. 2015). En México no es rentable para un hogar común basar parte o todas sus necesidades de energía eléctrica en esta fuente, porque recibe energía de la Comisión Federal de Electricidad, fuertemente subsidiada; es decir, si el usuario no excede los límites de consumo para poder mantener el citado subsidio, sólo pagará aproximadamente la tercera parte de su costo real, pero si tuviera que pagar el costo real de la energía eléctrica que consume, le convendría más instalar un sistema fotovoltaico para generar la energía eléctrica que necesita: mandando el superávit a la red pública durante el día y tomando energía de la red durante la noche.

En lugares donde existe un mercado para la energía eléctrica y al menos para los grandes productores y distribuidores, se cambia el precio en cualquier momento; con un alto nivel de instalación de paneles solares en las casas, el precio de la energía al mayoreo puede ser negativo. Esto ha ocasionado que en ciertos lugares las empresas productoras de electricidad hayan puesto en marcha exitosamente reglas que desincentivan la instalación de sistemas fotovoltaicos en casas particulares.

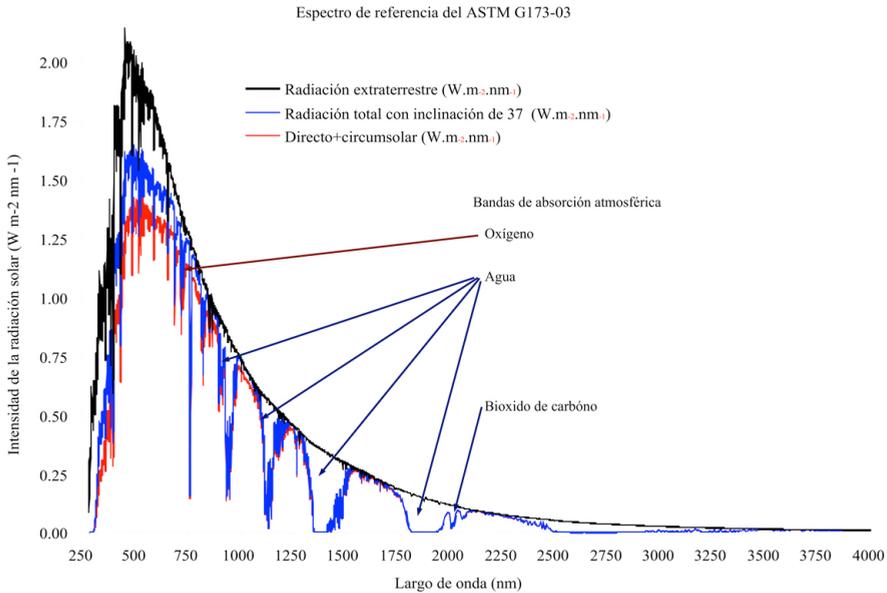


Figura 10. Radiación solar directa y difusa

Características de la radiación solar:

- Intensidad: en el espacio cercano a la tierra: $1\ 366\ \text{W/m}^2 \pm 6.9\%$ durante el año.
- Usualmente se considera que la radiación llega en dos formas: directa y difusa.

- Espectro: intensidad vs. longitud de onda.
- La intensidad de la radiación solar tiene variaciones por periodos: estacionales, diarias, y en periodos cortos, como por ejemplo cuando pasa una nube.



Fuente de datos: <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/ASTMG173/ASTMG173.xls>

Figura 11. Espectro solar

La energía solar no es confiable en tiempos de orden de minutos pero sí lo es, y mucho, en periodos largos de días, meses y años, pues se puede predecir con mucha confiabilidad su disponibilidad. Aunque, al igual que la eólica, las predicciones a corto plazo son cada vez más costosas.

¿Cómo se puede explotar la energía solar?

Directamente:

1. Como fotones

- fotovoltaico: energía eléctrica.
- fotoquímico: biomasa, hidrógeno.

Como calor

- fototérmico: agua caliente, calor para algún proceso, energía eléctrica.

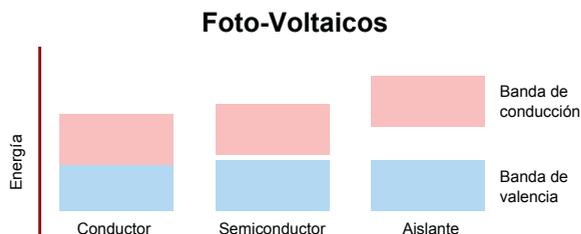


Figura 12. Funcionamiento de fotovoltaicos

Cuando un fotón llega a una pieza de silicio, pueden ocurrir tres acontecimientos:

1. El fotón puede pasar a través del material de silicio sin producir ningún efecto, esto ocurre, generalmente para fotones de baja energía.
2. Los fotones pueden ser reflejados al llegar a la superficie del panel, y son expulsados de este.
3. El fotón es absorbido por el silicio, en cuyo caso puede ocurrir:

* Generar calor

* Producir pares de electrones-huecos, si la energía del fotón incidente es más alta que la mínima necesaria para que los electrones liberados lleguen a la banda conducción.

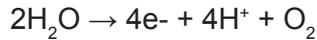
Fotovoltaicos: Existe una gran diversidad de tecnologías fotovoltaicas basadas en diferentes materiales semiconductores y con diferentes formas y estructuras. El material más común es el silicio en forma cristalina (la más cara y eficaz), policristalina y amorfa (la más barata y menos eficaz). Otro tipo de materiales puede usarse en películas delgadas producidas en procesos continuos; ejemplos de materiales usados en películas delgadas son: cobre-indio-galio-selenio (CIGS) y telurio de cadmio (sustancias sumamente tóxicas, aunque cuando se usan en paneles solares se sellan).

Debido a que para que un fotón brinque de la banda de valencia a la banda de conducción es importante partir de una energía mínima, mientras mayor sea la longitud de onda (más hacia el lado rojo del espectro) menos energía tendrán los fotones, así que para poder capturar de manera eficiente más fotones, debe anexarse una pila de semiconductores con diferentes niveles de energía. Este tipo de estructura le da a los fotovoltaicos mayor eficiencia, pero el costo es muy alto.

Otra manera de hacer sistemas fotovoltaicos es usar lentes o espejos para concentrar la radiación solar en un área más pequeña y por lo tanto usar menos material semiconductor. Sin embargo este sistema demanda remover el calor absorbido para mantener la eficiencia y vida útil del semiconductor.

Fotoquímico y electrofotoquímico: Los sistemas fotoquímicos buscan usar los fotones directamente de reacciones químicas para producir combustibles como el hidrógeno a partir del agua. Dado que la energía necesaria para romper una molécula de agua es más de lo que contiene un fotón de luz visible, es necesario diseñar sistemas de reacciones químicas que emulen el proceso biológico que permite acumular la energía de por lo menos cuatro fotones de luz visible en pasos intermedios, y después romper la molécula de agua. La primera etapa para la fotosíntesis en sistemas biológicos es poco eficiente. Si se puede lograr una eficiencia mayor de 15% se

superará lo obtenido con los mejores sistemas naturales (plantas C4). No es posible lograr la reacción de manera directa:



Los sistemas electrofotoquímicos pueden aprovechar diferentes partes del espectro solar para producir electrones y auxiliar la reacción fotoquímica (figura 15).

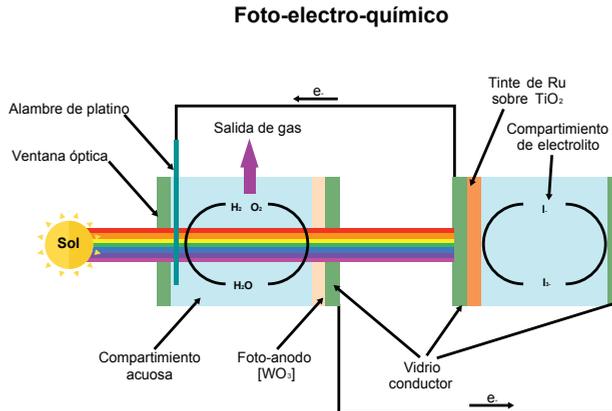


Figura 13. Ejemplo de un tipo de celda fotoelectroquímica

Fotoquímica biológica o biomasa: La biomasa más usada a nivel doméstico en muchas partes del mundo es la madera en forma de leña, aunque existen otros sistemas industrializados para su uso..



Figura 14. Uso directo de biomasa en la forma de leña

- *Etanol de caña:* existe mucha experiencia y conocimiento del proceso industrial para producir etanol a partir de la caña de azúcar en Brasil, ya que en este país se utilizó como combustible para automóviles desde la segunda década del siglo XX. Los procesos de producción de etanol en Brasil son altamente optimizados e integrados para producir electricidad además del combustible.

- *Etanol de maíz*: en Estados Unidos el gobierno ha subsidiado la producción de etanol a partir del maíz. Sin embargo, aunque se han mejorado, optimizado e integrado los procesos, existen dudas acerca de si realmente se puede considerar que el etanol a partir del maíz es un combustible que no crea gas de efecto invernadero. Las razones son el alto consumo de combustibles fósiles en la producción de fertilizantes y la generación del calor necesario para el proceso de sacarificación y destilación de lo fermentado (Karuppiyah, R. Peschel, A. Grossmann, I. E. Martín, M., Martinson, W. & Zullo, L. 2008).

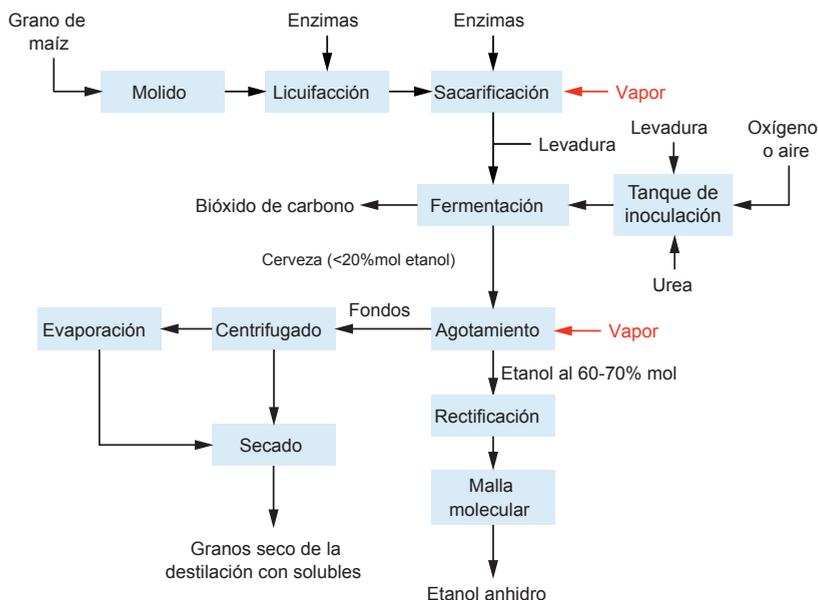


Figura 15. Proceso de producción de etanol a partir del maíz (Karuppiyah *et al.*)

- Nuevos procesos y sistemas en desarrollo

Existen sembrados de prueba y piloto de sorgo, caña, miscanthus, switchgrass (pastos C4), eucalipto, pinos taeda y radiata, fresno (árbol) y algas, donde se aplica tanto la ingeniería genética como métodos tradicionales de cruce y crianza de plantas. Con el abaratamiento de obtener secuencias completas de genomas, se puede acelerar la selección y cruce de cepas.

Unos de los campos de desarrollo es la modificación genética para cambiar los procesos de fotosíntesis e incorporar aspectos de los sistemas fotosintéticos de otros organismos como las plantas de tipo C4 y las cianobacterias, que son más productivas. También se desarrolla el uso de algas y plantas como la salicornia, que crecen en

aguas salobres y tienen un alto contenido de lípidos que se pueden usar como biodiésel.

Los materiales de árboles y arbustos contienen celulosa y ligninas que son moléculas muy difíciles de descomponer para generar bio-combustibles líquidos. Existen varias maneras de producir combustibles líquidos a partir de material biológico.

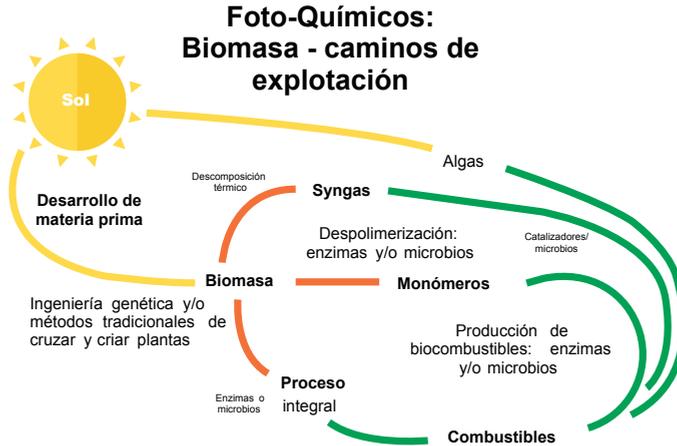


Figura 16. Biomasa: rutas de explotación

Los costos de producción de combustibles líquidos a partir de biomasa dependen de la tecnología empleada, de las políticas de uso de suelo para sembrar cultivos y de conocer si existen incentivos fiscales. También la competitividad depende de los subsidios e impuestos sobre los combustibles fósiles líquidos. Por ejemplo, en muchos países europeos el impuesto sobre la gasolina y el diésel integra la mayor parte del precio. Un estudio publicado en 2008 intentó estimar los precios a futuro de los combustibles basados en biomasa (The Royal Society. 2008); los resultados se resumen en la siguiente figura.

FOTO-QUÍMICOS: BIOMASA-COSTOS

Combustible	Dólares/ Barril equivalente	2006
Barril de petróleo		50 a 80
Derivados del petróleo antes de impuesto		35 a 60
Derivados del petróleo precio al público: Europa		150 a 200
Derivados del petróleo precio al público: EUA		80

<i>Biocombustibles</i>	<i>2006</i>	<i>A largo plazo ~ 2030</i>
Etanol de caña	25 a 50	25 a 35
Etanol de maíz	60 a 80	35 a 55
Etanol de remolacha azucarera	60 a 80	40 a 60
Etanol de trigo	70 a 95	45 a 65
Etanol de ligno-celulosa	80 a 110	25 a 65
Bio-Diesel de aceites vegetales	70 a 100	40 a 75
Combustibles a partir de "syngas"	90 a 110	70 a 85

Fuente: The Royal Society reportado por The Economist: Junio 21 2008

Figura 17. Costos estimados de la biomasa

Calor Solar: El aprovechamiento del sol para calentar agua es una de las maneras más sencillas de utilizar este tipo de energía. En México es ampliamente empleado, especialmente para sustituir el uso de gas licuado de petróleo (gas LP). No solamente se usa para proveer de agua caliente a hogares, sino también a hoteles, hospitales y otras instalaciones comerciales.



Figura 18. Calentador solar doméstico de agua

Otra manera de aprovechar el calor solar es en grandes instalaciones que lo concentran para producir directa o indirectamente vapor para turbinas que mueven generadores eléctricos, pues usualmente dichos sistemas usan un fluido intermedio que es calentado por radiación solar concentrada. El fluido caliente se puede almacenar en tanques para permitir una operación constante y hasta varias horas después de la puesta del sol.

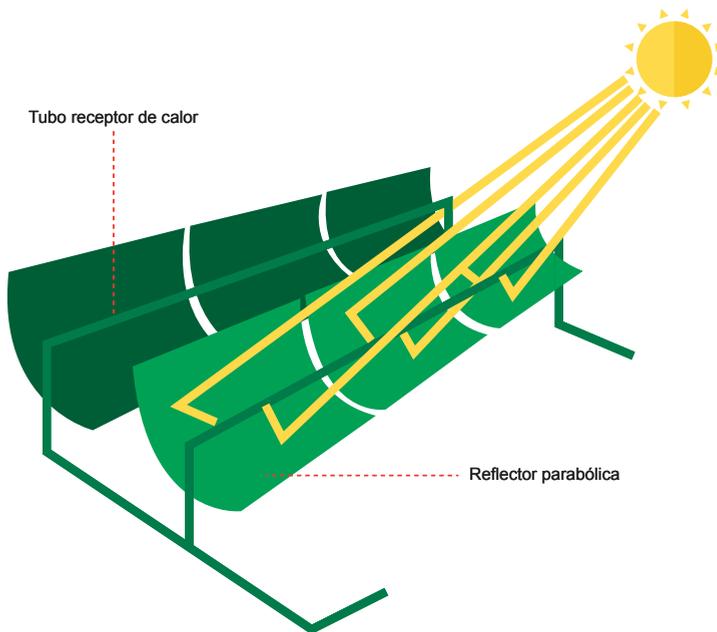


Figura 19. Sistema térmico-solar con concentradores parabólicos

Viento: La explotación de la energía eólica (del viento) ha ido creciendo a pasos exponenciales en los últimos diez años, en México y en el resto del mundo. Durante 2015 la capacidad instalada de generación de electricidad basada en el viento creció 17%; en México, 30%. La energía eólica no está bajo el control total del operador de una red de generación, transmisión y distribución de energía, pero tampoco es impredecible. Cada vez más se puede predecir la disponibilidad de energía eólica tanto en días como en horas o minutos (Cadenas, E. Rivera, W. Campos-Amezcu, R. Heard, C. 2016). La energía eólica puede generarse en campos de centenares de turbinas conectadas individualmente a una red eléctrica o a sistemas independientes. Existen usos tradicionales del viento para operar bombas de agua en pozos de lugares remotos, y lo intermitente del viento se compensa con el almacenaje de agua bombeada. Aunque es más caro construir campos eólicos costa fuera, tiene ventajas en cuanto a la disponibilidad del viento y el menor impacto visual. Este último factor ya es importante en algunos países donde dicho factor frena el desarrollo de campos eólicos sobre tierra, pues los costos de la energía eléctrica basada en el viento para instalaciones en tierra en muchas partes del mundo llegaron en 2015 a niveles inferiores a los del sistema de generación basado en carbón mineral y gas natural. En el mercado de Estados Unidos, un estudio de la Energy Information Administration mostró que la energía eólica es más barata que cualquier otra fuente de energía, con excepción de la geotermia (U.S. Energy Information Administration. 2016c).



Figura 20. Campo de turbinas eólicas.

Cuando se desarrolla un campo de turbinas eólicas se puede dividir el desarrollo en etapas de hasta una sola turbina, y si por alguna razón no se puede realizar el total del desarrollo originalmente planeado, igualmente se obtiene la energía que corresponde a la proporción ya desarrollada, mientras con sistemas de generación, como por ejemplo la nuclear, se enfrentan tiempos de diseño, gestión, construcción y puesta en marcha de decenas de años, y si es necesario detener el proyecto, la capacidad de generación resultante es cero. Hoy día las tecnologías de sistemas de generación eólica y sus sistemas auxiliares, incluidos sistemas de almacenamiento a corto plazo, cambian en decenas de meses. Existen campos de generación eólica como el de la figura 20, donde ya las turbinas originales han sido sustituidas por equipo nuevo de mayor capacidad y eficacia, aunque no haya terminado la vida útil del equipo original. El equipo inicial de diez turbinas de 400 kW cada una empezó su operación en 1991, después de tres meses de construcción y un mes de su puesta en marcha. En agosto de 2010 se retiraron estas turbinas de servicio, y para febrero de 2011 ya estaban en operación cuatro turbinas más grandes, con una capacidad total de generación de 9.2 MW (230% de la capacidad del campo original).

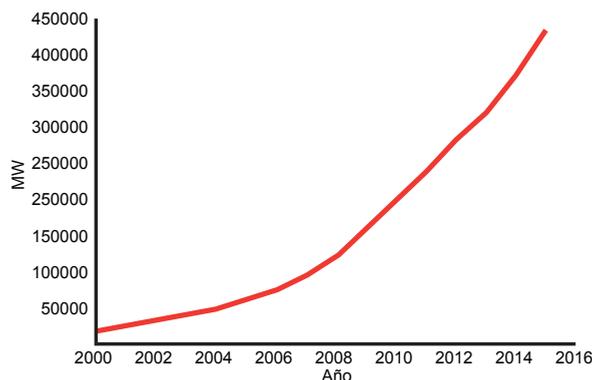


Figura 21. Capacidad de generación eléctrica eólica instalada en el mundo.

Fuente: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-PRstats-2015_LR_corrected.pdf

La factibilidad de los campos de generación eólica dependen de la distancia entre el sitio y la red eléctrica existente, y la disponibilidad de datos de viento con calidad suficiente para predecir la producción esperada, entre otras consideraciones, como por ejemplo el impacto sobre las aves, los murciélagos y el ambiente visual.

El agua: Existen diversas fuentes de energía que se explotan en función del movimiento del agua:

- Hidroeléctrica “tradicional”, donde una cantidad de agua es retenida en una presa, de donde se descarga mediante turbinas hidráulicas por diferencia de potencia gravimétrica.
- Microhidráulica: se usa en presas sobre pequeños ríos, o por medio de turbinas que capturan la energía cinética de la corriente de un río.
- Corrientes de la marea, tanto en estuarios como en otros lugares propicios.
- Sistemas que captan la energía del oleaje.

La hidroeléctrica a gran escala depende de embalsar el agua de un río de caudal importante, y ocupa mucho terreno que, como se inunda, motiva un impacto ambiental local considerable. Si es en un lugar con mucha vegetación, como una selva tropical, la generación de gases de efecto invernadero como producto de la descomposición anaerobia puede observarse durante años. En muchas ocasiones, se inundan poblaciones, lo que da lugar a diversos problemas sociales y económicos. Otra consideración es la sismicidad tanto del lugar donde se pretende establecer la presa como la inducida por el peso del agua acumulada y su filtración en los estratos subyacentes.

Como fuente de energía, es una de las renovables que se puede dispatchar y usar para mantener la demanda minuto a minuto. Sin embargo, se requiere administrar considerando ciclos anuales y multianuales de precipitación (lluvia y nieve) en la zona de alimentación de la presa. Cuando suceden eventos de precipitación extrema, puede ser necesario tomar medidas de control del agua almacenada que de alguna manera exacerban la situación aguas abajo de la presa en cuestión.

En lugares y comunidades remotos la microhidráulica puede ser una fuente de energía confiable y menos cara que el uso de generadores basados en motores diésel. Estos sistemas normalmente tienen capacidad de pocos kilowatts.

Para aprovechar tanto las corrientes de agua de ríos como estrechos de mar se usan turbinas de eje horizontal y eólicas comunes de eje vertical.

El oleaje del mar puede ser una fuente de energía renovable relativamente concentrada de hasta 80 kW por metro lineal de ola. La potencia lograda se calcula con la siguiente fórmula:

$$P \approx 0.5H^2T \left(\frac{kW}{m_{\text{lineal ola}}} \right)$$

Donde

- P = Potencia (kW)
- H = Amplitud de la ola (altura) (m)
- T = Tiempo de duración de la ola (s)

Existe el mejor suministro de energía del oleaje entre las latitudes 30° y 60°. Se estima que la potencia total disponible mundialmente es de 2 TW (casi 37 veces la capacidad de generación disponible en México). Se considera que se puede aprovechar de 10 a 15% de esto. Por ejemplo, en el Océano Pacífico de México existe potencial para obtener 210 MW de energía en las costas de Baja California Sur y Baja California (Tapia Olivas, J. C. Delgado Rendón, R. Hernández Martínez, E. Noh Pat, F. Villanueva Vega, E. E. & Castañón Bautista, M. C. 2015).

Geotermia: La manera actual (2016) de explotar el calor de la tierra (energía geotérmica) para generar electricidad es extrayendo agua caliente y vapor de yacimientos hidrotermales. Dichos yacimientos son relativamente superficiales (de entre 1 000 y 3 000 metros de profundidad) y consisten en rocas calientes, usualmente en lugares con actividad volcánica presente o del pasado reciente en términos geológicos, con poros donde se encuentra agua presurizada caliente o vapor. En México existen varios campos hidrotermales en explotación: Cerro Prieto en Baja California, Los Azufres en Michoacán, Los Humeros en Puebla y Tres Vírgenes en Baja California Sur, con una capacidad total operativa de 873 MW (Asociación Geotérmica Mexicana. 2016), por los que ocupa el cuarto lugar en el ámbito mundial.

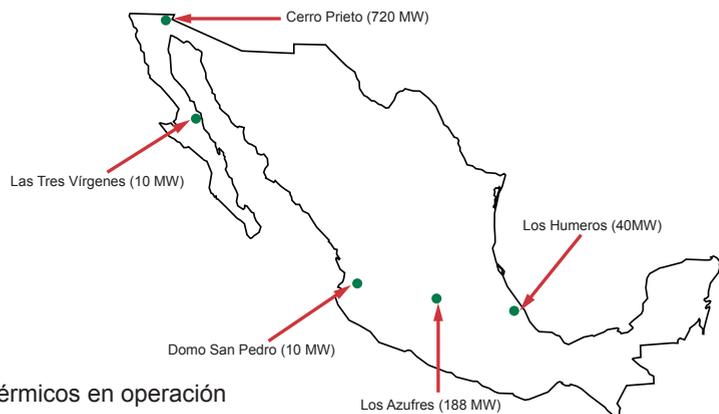


Figura 22. Campos geotérmicos en operación

Geotermia

Esquemático de una planta geotermo-eléctrica central: Cerro Prieto I

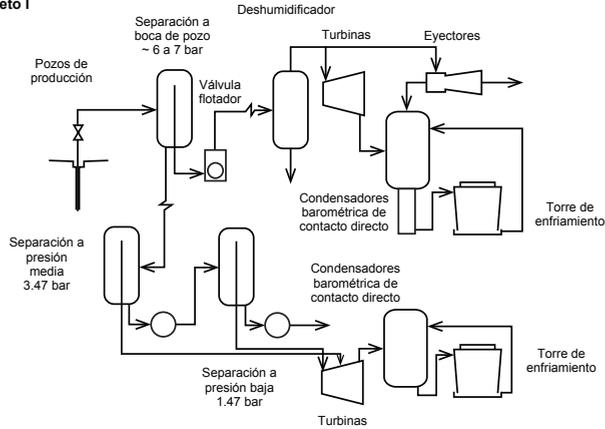


Figura 23. Proceso de generación eléctrica a partir de la geotermia en Cerro Prieto, Baja California.

El otro método de importancia mundial para usar el calor de la tierra es por medio de pozos someros para actuar como fuente o sumidero de calor de bombas para calefacción y enfriamiento de edificios y viviendas. Una bomba de calor funciona de manera similar a como lo hace un refrigerador: toma calor a una temperatura baja (por ejemplo el interior de un refrigerador) y lo entrega a una temperatura alta (el exterior del refrigerador). En el caso de una bomba de calor, toma el calor del aire exterior, del suelo del jardín o del agua tibia de un pozo somero geotérmico, y lo entrega a una temperatura suficientemente alta para calentar una vivienda.

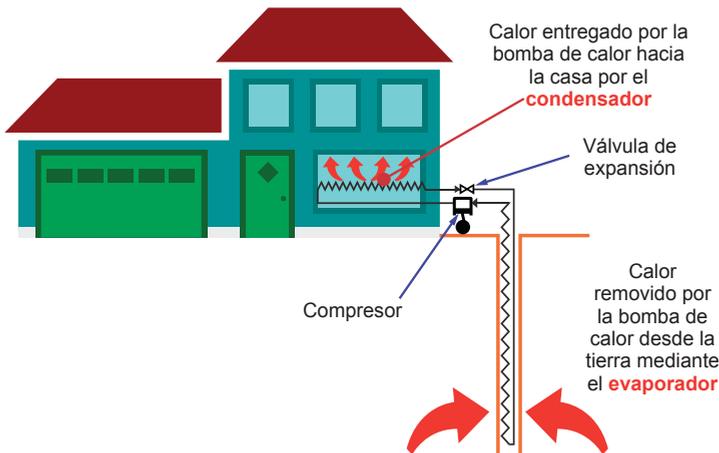


Figura 24. Bomba para calentar una casa mediante una fuente geotérmica somera.

Los recursos hidrotermales en el mundo son limitados, por esta razón se busca explotar como recurso rocas secas calientes mediante la creación de yacimientos con fracturas artificiales. Se pretende tener un sistema completamente controlado que suministre calor a un sistema de generación eléctrica.

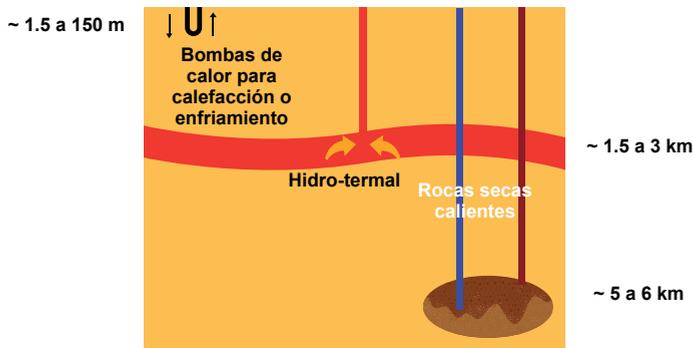


Figura 25. Maneras de explotar la geotermia.

Almacenamiento y vectores de energía

Fuentes de energía como el sol, el viento, el oleaje y la marea son de disponibilidad variable, tanto con una periodicidad característica como aleatoria. La biomasa es intrínsecamente un almacén de energía; la geotermia es una fuente de energía confiable y dispatchable, muy apropiada para satisfacer la demanda base de energía eléctrica; los sistemas hidroeléctricos a gran escala también son almacenes de energía: son aptos para abastecer la demanda eléctrica a corto plazo, pero a largo plazo (periodos de meses y años) dependen del clima y de sus ciclos anuales y multianuales. Muchas de las fuentes de energía renovables se encuentran disponibles geográficamente lejos de los consumidores, por lo que existe la necesidad de almacenar y transportar la energía a distancias de miles de kilómetros.

Para el transporte de energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables se necesitan más líneas de transmisión y más interconexión de red eléctrica. En el pasado y todavía en 2016 las redes de transmisión y distribución eléctrica se han orientado a un paradigma de grandes centros de generación (basados en combustibles fósiles, nucleares e hidroeléctricos), de donde se transmite la energía hacia los grandes centros urbanos y las poblaciones intermedias y menores. Entonces la energía fluye por grandes líneas troncales de las que se alimentan las líneas intermedias y después las líneas de distribución local. En un futuro, cuando existan muchas fuentes de energía renovable no dispatchable distribuidas por toda la red, los flujos de energía podrán fluir desde la periferia de la red hacia nodos intermedios,

o entre consumidores y productores locales. La operación de este tipo de red es mucho más compleja y requiere de sistemas de almacenamiento de energía a gran escala, centralizados y de menor escala, distribuidos por toda la red.

Actualmente los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica más grandes son hidroeléctricos por bombeo. Se necesitan dos balsas de agua con una diferencia de altura grande pero una distancia corta entre ellas. Son pocos los lugares en el mundo adecuados para un sistema de almacenamiento por bombeo, pero los que existen funcionan de manera eficiente y confiable.

Se tienen ya algunos ejemplos de grandes instalaciones de baterías para ayudar a mantener la estabilidad de la red por periodos cortos. Para este fin existen muchas diferentes tecnologías de baterías en desarrollo y a prueba. Se desarrollan también sistemas a gran escala del orden de MWh de capacidad, hasta sistemas a una escala doméstica para auxiliar un uso local de energía solar, con capacidad de 3 a 10 kWh. Se encuentran la tecnología y los precios en un proceso de cambios rápidos y sólidos.

Administración de redes eléctricas

Actualmente el control de la red mexicana de transmisión y distribución de energía eléctrica se lleva a cabo en el Cenace, donde gran parte del sistema es despachado manualmente. La experiencia actual, como en todo el mundo, es manejar en general grandes bloques de considerable capacidad (centenares de megawatts), con un mando centralizado en plantas medianas a pequeñas para satisfacer los picos de demanda. Al agregar fuentes de energía cuyas características incluyen que su disponibilidad es variable y cada fuente tiene variaciones especiales (cf. eólica y solar), será necesario contar con mayor sofisticación y automatización de la transmisión y distribución de la energía eléctrica. Sin embargo, se prevé que no sólo se requerirá un sistema de control del suministro al consumidor más competente, sino sistemas de administración de la demanda mucho más complejos y automatizados.

La república mexicana cuenta con amplias fuentes de energía renovable que pueden ser explotadas tanto a gran escala como por microgeneración. La microgeneración mayormente está asociada con consumidores domésticos y de pequeñas y medianas empresas. Las fuentes explotadas a gran escala son la eólica y la solar, y se ubican regularmente en sitios alejados de los grandes centros de consumo (por ejemplo el Istmo de Tehuantepec en el caso de la eólica y el desierto de Sonora en el caso de la solar), por lo que

son necesarios grandes desarrollos, con mayor capacidad de transmisión de energía eléctrica a grandes, y mayor variabilidad de carga. Estos desarrollos no sólo deberán tener previstas medidas que aseguren la confiabilidad del suministro frente a tipos especiales de fuentes de energía renovables, sino frente a efectos meteorológicos y tormentas eléctricas solares.

Si se pretende involucrar a los consumidores tanto domésticos como industriales y comerciales en la administración activa de su demanda de energía eléctrica, se requerirá información de convencimiento acerca de la necesidad y conveniencia de su participación individual y social. Las pocas experiencias sobre la implementación de redes eléctricas con cierto grado de automatización en suministro y/o administración de la demanda son la base para futuros estudios y experimentos. Es necesario recolectar experiencias que no han sido ampliamente difundidas dado que fueron realizadas en un ámbito comercial y por lo tanto sus resultados fueron considerados propios de la empresa que las realizó. Los puntos anteriores muestran la necesidad de un cambio de papeles tanto de los consumidores (actualmente pasivos) como de los productores y los distribuidores (actualmente autoritarios). Sin esto se dificultará el uso de una red inteligente de transmisión y distribución de energía con una alta proporción de fuentes de energía de disponibilidad altamente variable. La reforma energética de 2015 ha avanzado en cuanto a integrar más fuentes diversas de energía con un rango de escalas que va desde la producción doméstica hasta las grandes centrales solares y eólicas. Para facilitar la interacción dinámica entre suministro, transmisión y distribución de la energía eléctrica y su consumo, hacen falta mecanismos que envíen señales en tiempo real. Uno de los métodos más utilizados para empatar oferta y demanda de bienes y servicios es el mercado. Puede ser altamente regulado o puede actuar con pocas reglas, pero es un mercado. Actualmente existen pocos países donde se utilizan mecanismos de mercado para igualar suministro y demanda de energía eléctrica; sin embargo sí existen algunos ejemplos de por lo menos un mercado de mayoreo. Un sistema paternalista absuelve al consumidor de mucha responsabilidad y como resultado fomenta el uso irresponsable del recurso. No obstante, será difícil persuadir a los consumidores de enfrentar un precio por la electricidad que varíe segundo a segundo. Igualmente, los grandes productores tradicionales de energía eléctrica en algunos países han encontrado que los precios momentáneos de ésta pueden tornarse negativos si existe un superávit de generación fotovoltaica a partir de su instalación en casas-habitación en horas de máximo consumo (Parkinson, G. 2014).

Referencias

- Balance Nacional de Energía, 2014, Secretaría de Energía, Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, Dirección General de Planeación e Información Energética, México, 2015. Disponible en http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/89382/Balance_Nacional_de_Energ_a_2014.pdf
- El Ciruelo*, guión y dirección de Emiliano Altuna y Carlos F. Rossini. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=NA0wpiv1eBg> 2008.
- Ron Bowman (director), Ben Meyer (escritor) y Edward Norton (relator), *Strange Days on Planet Earth: Predators*, National Geographic, 2004. Disponible en <https://www.iea.org/media/omrreports/Table1.xls>
Disponible en <https://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=5&pid=57&aid=6>
- Average Power Plant Operating Expenses for Major U.S. Investor-Owned Electric Utilities*, 2004 a 2014 (mills por kW/h). Disponible en http://www.eia.gov/electricity/annual/html/epa_08_04.html
- David Feldman, Galen Barbose, Robert Margolis, Mark Bolinger, Donald Chung, Ran Fu, Joachim Seel, Carolyn Davidson y Ryan Wiser, *Photovoltaic System Pricing Trends Historical, Recent, and Near-Term Projections*, 2015, 25 de agosto de 2015. https://emp.lbl.gov/sites/all/files/pv_system_pricing_trends_presentation_0.pdf
- Karuppiah, R., A. Peschel, I. E. Grossmann, M. Martín, W. Martinson y L. Zullo, "Energy Optimization for the Design of Corn-Based Ethanol Plants", *AIChE Journal* 54 (6), pp. 1499-1525, junio de 2008.
- The Royal Society, *Sustainable biofuels: prospects and challenges*. Disponible en https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/2008/7980.pdf
- E. Cadenas, W. Rivera, R. Campos-Amezcuca, C. Heard, "Wind speed prediction using a univariate ARIMA model and a multivariate NARX model", *Energies*, 2016, 9(2), 109. Disponible en doi:10.3390/en902109
- U.S. Energy Information Administration, *Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook*, 2015. Disponible en https://www.eia.gov/forecasts/aeo/electricity_generation.cfm

Juan Carlos Tapia Olivas, René Delgado Rendón, Emilio Hernández Martínez, Felipe Noh Pat, Eric Efrén Villanueva Vega y María Cristina Castañón Bautista, *Evaluation of Wave Energy in the Pacific Ocean for Baja California State in Mexico*, Paper No. IMECE2015-52857, pp. V06B-T07A058; 6 p. Disponible en doi:10.1115/IMECE2015-52857, ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Volume 6B: Energy, Houston, Texas, USA, November 13–19, 2015, ISBN: 978-0-7918-5744-1

Asociación Geotérmica Mexicana, Recursos geotérmicos. Disponible en http://www.geotermia.org.mx/geotermia/?page_id=688

Giles Parkinson, *Solar has won. Even if coal were free to burn, power stations couldn't compete*. Disponible en <https://www.theguardian.com/commentisfree/2014/jul/07/solar-has-won-even-if-coal-were-free-to-burn-power-stations-couldnt-compete>

Bosques y sustentabilidad: retos y potencialidades

Rafael Calderón Contreras

Introducción

Desde los confines del origen de la humanidad, los bosques han jugado roles estratégicos para su desarrollo. Los ecosistemas forestales han posibilitado el cambio civilizatorio de la humanidad, proporcionando los mecanismos para desarrollar la agricultura, satisfaciendo la demanda de combustible que alimentó guerras milenarias y promoviendo el cambio tecnológico que caracteriza actualmente al planeta. Paradójicamente, a pesar de su importancia, los recursos forestales sufren actualmente de presiones sin precedente. Las dinámicas económicas y sociales globales, así como los retos del cambio climático global representan nuevas dinámicas que incitan a pensar en los bosques desde puntos de vista diferentes. En este sentido, de la misma forma en la que evolucionan los problemas de la conservación y protección de los bosques, los esfuerzos por hacer más sustentables a los bosques deben adaptarse a estos cambios vertiginosos.

El presente capítulo busca introducir al lector a los retos y potencialidades de la sustentabilidad que implican los problemas actuales de los bosques. Se hace énfasis en la situación global de los ecosistemas forestales en el mundo, con la visión de extrapolar dichas problemáticas y sus consecuencias a escalas regionales y locales. Así mismo, se ilustran las profundas y complejas dinámicas que nos vinculan con los bosques; dinámicas que permiten vislumbrar mecanismos que permitan hacer más sustentables a los ecosistemas forestales, sus productos y sus servicios. Para cubrir estos objetivos, el presente capítulo se divide en seis secciones, incluyendo esta introducción.

La siguiente sección trata de introducir las nociones relativas al Antropoceno; la nueva era geológica en la cual está inserto el planeta y que trastoca las ideas tradicionales de ecología y sustentabilidad. Esta sección busca introducir cuestionamientos acerca de la forma en la que se entiende y se aplica la sustentabilidad de los bosques, en el contexto de un momento histórico

en el planeta, en el que el hombre perturba las estructuras más íntimas del sistema planetario.

La tercera sección discute los retos de la sustentabilidad de los bosques, sus principales problemas y dificultades; para abrir la discusión hacia el Manejo Forestal Sustentable. Este marco de implementación de planes y programas de sustentabilidad es cuestionado en torno a los problemas para su implementación, pero también en relación a las oportunidades que este sistema de manejo plantea.

La cuarta sección del capítulo utiliza el marco de referencia de los servicios ecosistémicos o ambientales para revalorizar el rol de los bosques para subsanar las necesidades humanas. En esta sección el capítulo argumenta que es necesario introducir nuevos marcos analíticos y metodológicos a los esfuerzos por implementar medidas de manejo sustentable de los bosques. La última sección del capítulo incluye las conclusiones generales y reflexiones finales.

Situación general de los bosques en el Antropoceno

Se estima que hace 8 000 años, cerca del 47% de la superficie de la Tierra estaba cubierta por bosques (Billington, C., Kapos, V., Edwards, M. S., Blyth, S., Iremonger, 1996). Desde entonces, el planeta ha perdido aproximadamente el 40% de su superficie forestal original, y el bosque existente adolece de diversos grados de fragmentación y degradación (MEA 2005a). La gran mayoría de estos impactos han sido generados y consolidados desde el inicio de la revolución industrial, y se ha acelerado en las últimas décadas. La reciente degradación ambiental en general, asociada al cambio ambiental global, ha sugerido el inicio de una nueva era geológica, en la que por primera vez la acción de una especie en particular tiene profundos impactos en las estructuras más íntimas del planeta. A esta nueva era geológica se le ha denominado "Antropoceno" (Bai *et al.*, 2015; Biermann *et al.*, 2015; Heikkurinen, Rinkinen, Järvensivu, Wilén, & Ruuska, 2016; Veland & Lynch, 2016).

Aunque existen discusiones sobre el inicio del Antropoceno (algunas posturas lo vinculan al origen de la agricultura, o a la revolución industrial) (Bai *et al.*, 2015), recientes investigaciones aseguran que su inicio data precisamente el 16 de julio de 1945, cuando el primer dispositivo nuclear fue explotado en el desierto de Nuevo México, Estados Unidos. Es desde este momento en el que se considera que el ser humano inicia una profunda modificación de las diversas estructuras y dinámicas del planeta (Rockström, Stordalen, & Horton, 2016). Se ha considerado que el Antropoceno tiene tres características principales, denominadas 3, 6, 9. (3) Se calcula que la generación y emisión de

contaminantes que caracterizan al actual modo de producción y consumo fija una tendencia a incrementar en 3 grados centígrados la temperatura global (*Ibid*). (6) El planeta se encuentra afrontando la 6ta extinción masiva de especies, una de las cuales fue la extinción de los dinosaurios; y (9), los cálculos poblacionales actuales indican que para 2050 la población mundial alcanzará 9 mil millones de personas (Thomas, 2015; Veland & Lynch, 2016).

Las implicaciones de esta gran aceleración que caracteriza al Antropoceno, son de vital importancia para entender los retos de la sustentabilidad de los ecosistemas globales en general, y en particular la situación actual y retos de los bosques. En términos socio-ecológicos, los bosques cumplen funciones de regulación de ciclos bio-geo-químicos a escala global, así como de albergue de más de la mitad de la biodiversidad total del planeta; biodiversidad que resulta instrumental para el bienestar humano. Sin embargo, como se ha mencionado, también reciben de manera directa los efectos negativos del cambio ambiental global que caracteriza al Antropoceno. Según datos del Millenium Ecosystem Assessment (2005a: 588). “Los bosques a nivel global han desaparecido completamente en 25 países, y en otros 29 han perdido más del 90% de su cobertura forestal”. A pesar de que el bosque se ha recuperado parcialmente en Europa y Norteamérica, cada año se pierden más de 10 millones de hectáreas, un área mayor que Grecia, Nicaragua o Nepal y más de cuatro veces el tamaño de Bélgica (*Ibid*).

Los bosques significan un nodo regulador del ciclo global del carbono, y como consecuencia, del cambio ambiental global. Los bosques contienen cerca del 50% de las reservas de carbono orgánico terrestre y constituyen aproximadamente el 80% de la biomasa del planeta (MEA 2005a). Los ecosistemas forestales representan más de dos terceras partes de la producción primaria neta, lo que implica que la reducción de la deforestación, y la restauración de la cobertura boscosa podría contribuir a mitigar el cambio climático global (Exner *et al.*, 2016; Neitzel *et al.*, 2014; Shackleton & Shackleton, 2006).

La sustentabilidad futura de los bosques a escala global está trastocada por las dinámicas inherentes al Antropoceno, el cual significa retos que no se han afrontado en la historia de la humanidad. Es innegable que la pérdida y degradación forestal está derivada de una compleja, pero no reciente, combinación de factores políticos, institucionales, ecológicos y sociales, así como factores demográficos como el crecimiento y la re-densificación poblacional, o la migración. Sin embargo, tomar en consideración que la humanidad se encuentra en una nueva era geológica como el Antropoceno, ayuda a plantear una nueva forma de entender a la sustentabilidad. Y más aún, implica que esfuerzos por diseñar planes y políticas desde la sustentabilidad deben ser innovadores y de corte transversal, multi- e incluso trans-disciplinar.

Retos para la sustentabilidad de los bosques

Los bosques son ecosistemas de los que depende la gran mayoría de la población, incluso en aquellos sectores que no están directamente en contacto geográfico con las masas forestales; por ejemplo, las ciudades y metrópolis. En la sustentabilidad de los bosques radica el futuro de la provisión de los servicios ambientales básicos para la ciudad, como la captura de carbono (Caro-Borrero, Corbera, Neitzel, & Almeida-Leñero, 2015; Pérez-Campuzano, Avila-Foucat, & Perevochtchikova, 2016), la mitigación de los efectos de emisiones contaminantes (Calderón-Garcidueñas, Kulesza, Doty, D'Angiulli, & Torres-Jardón, 2015; Quintas-Soriano, Castro, Castro, & García-Llorente, 2016), reducción de riesgos por inundaciones (Kotzee & Reyers, 2016), y en general para incrementar la resiliencia al cambio climático en zonas urbanas y metropolitanas (Calderón Contreras, 2013; Meerow, Newell, & Stults, 2016; Pérez-Campuzano *et al.*, 2016; Schewenius, McPhearson, & Elmqvist, 2014).

En zonas rurales a escala global, los recursos forestales son esenciales para la subsistencia de comunidades pobres y de autoconsumo. La subsistencia y supervivencia de cerca de 300 millones de personas en el mundo, la mayoría en extrema pobreza; y de los cuales 60 millones son indígenas, dependen substancialmente de los ecosistemas forestales (MEA 2005b). Aunque el acceso a recursos forestales por sí mismo es insuficiente para erradicar la pobreza, la pérdida de cobertura forestal en estas zonas representa consecuencias negativas para el bienestar de estos sectores poblacionales, incrementando su exposición a los riesgos asociados con el cambio climático y reduciendo considerablemente su capacidad de resiliencia.

Paradójicamente, cada vez más planes y programas emergentes de sustentabilidad y conservación forestal se fundamentan o toman en consideración el valor cultural y espiritual que los grupos indígenas y comunidades de subsistencia confieren a los bosques. La sustentabilidad ha adoptado al conocimiento tradicional como un insumo fundamental para la conservación forestal, y se ha aplicado hasta en las corrientes más tecnificadas del diseño de políticas y programas de manejo de bosques. Dada la importancia de su valor espiritual y recreacional, y su cercanía con la mayoría de los valores religiosos a nivel mundial, los bosques continúan jugando un rol importante en la cohesión no solo a nivel local, sino a nivel regional y nacional.

Uno de los retos más importantes para la sustentabilidad de los bosques consiste en generar mecanismos que reconecten a la población en general con los valores y las tradiciones culturales y simbólicas asociadas con los mismos. Se ha demostrado que el conocimiento tradicional enfocado en programas que pugnen por la conservación en particular, y la sustentabilidad

en general resulta en procesos más eficientes e inclusivos, que tienen mejor aceptación social y que pueden ser adoptados y asimilados de mejor forma por comunidades locales, generando mejoras en torno al manejo forestal (Vijge, Brockhaus, Di Gregorio, & Muharrom, 2016).

En este sentido, uno de los principales retos para la sustentabilidad forestal, radica en factores completamente ajenos a la estructura ecológica o social del bosque; más bien, se centra en la imposibilidad de comunicación entre los postulados más técnicos de la sustentabilidad y aquellos con enfoques eminentemente sociales, o ambientales. En otras palabras, los planes y programas de sustentabilidad o conservación forestal a menudo están basados en alguno de los elementos anteriormente mencionados en particular. El diseño de estrategias multi o transdisciplinarias resulta complicado y de difícil aplicación.

Una de las aproximaciones políticas y de aplicación de la sustentabilidad en relación al manejo y conservación del bosque es el Manejo Forestal Sustentable (MFS). El cuál es un conjunto de recomendaciones emitidas por organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas por medio de sus organismos descentralizados con la intención de sortear lo que posiblemente sea el reto más importante de la sustentabilidad: la traducción del discurso político a la práctica.

Manejo Forestal Sustentable: ¿es posible?

La definición tradicional de sustentabilidad refiere a la posibilidad de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las opciones futuras, sin embargo, los problemas que afrontan los ecosistemas forestales a nivel global, cuestionan la aplicación práctica de este concepto. Por un lado, el manejo forestal sustentable ha sido fundamentado en la noción de equilibrio entre el crecimiento del bosque y el aprovechamiento de recursos tanto maderables como no maderables que se sostiene en perpetuidad (Thang, 2003). Las nociones tradicionales que fundamentan a la sustentabilidad, como el equilibrio o los nichos ecológicos, han sido arduamente cuestionadas por no contemplar las complejas y variables dinámicas, tanto sociales como ecológicas, necesarias para un verdadero manejo forestal sustentable (Calderón-Contreras, 2010; Hodbod & Adger, 2014).

Por otro lado, se ha determinado que lo que se considera sustentable en un espacio y tiempo determinado, podría no aplicar a otros sistemas forestales, sobre todo tomando en cuenta la evolución de las necesidades y la percepción de ciertos elementos, como el progreso o desarrollo. La evolución de las ideas y modelos de desarrollo aunado a las imperantes demandas de

una población creciente que pondera el bienestar regional sobre el global, han sido históricamente determinantes para entender los actuales problemas de sustentabilidad del bosque.

En este sentido, algunos países y regiones del planeta han experimentado periodos de pérdida forestal asociados con los esfuerzos por incrementar su bienestar en aras de una idea o modelo de desarrollo. Por ejemplo, se estima que Europa perdió entre el 50 y 70% de su cobertura forestal original principalmente durante la edad media, dada la enorme demanda de madera como combustible e insumo de construcción (WRI, 1992). Así mismo, Norteamérica perdió cerca del 30% de sus bosques en el siglo XIX dada la imperante necesidad, principalmente de Estados Unidos, por competir en la carrera industrializadora que se desarrollaba en Europa (Ibid.). Sin embargo, paradójicamente, el desarrollo económico y el bienestar social alcanzado por estas regiones durante el siglo XX han posibilitado la implementación de políticas forestales que han restaurado parte de su cobertura forestal. Dichas políticas forestales han estado principalmente desarrolladas en torno a plantaciones extensivas, y no han evitado en su totalidad la fragmentación del bosque y la consecuente pérdida en la calidad del mismo.

Esta significativa restauración en la cobertura forestal no es evidente en países no industrializados o economías emergentes, los cuales presentan altos índices de deforestación en combinación con altos niveles de marginación, pobreza y una acelerada explosión demográfica. En estos países donde el bienestar económico y social parece superar en el orden de prioridades a la conservación del bosque, el reto de manejar de manera sustentable los recursos forestales, asegurando el bienestar futuro de sus habitantes, parece un obstáculo insorteable.

El panorama de los bosques a nivel global es incierto. Por un lado, aunque se ha demostrado que la cobertura de los bosques templados y boreales se ha estabilizado y en algunos casos ha incrementado, su calidad sigue amenazada por los efectos globales del cambio climático, como las plagas, la incidencia de incendios forestales, cambios en regímenes de humedad, etc. (MEA 2005a). Aunado a estos riesgos globales, los bosques tropicales (sobre todo en regiones pobres) enfrentan una combinación de factores directos e indirectos que ponen en peligro su sustentabilidad futura. Ejemplos de estos factores directos son la extracción desmedida de recursos forestales, la expansión agrícola, la extensión de carreteras y otras infraestructuras en zonas forestales, etc.; factores indirectos incluyen la corrupción, el incremento de actividades económicas y problemas del mercado, la amplia gama de debilidades y fallas burocráticas e institucionales, el cambio tecnológico, o la escasa o nula conciencia pública de los valores e importancia del bosque, entre otras.

Dichos factores han impulsado la implementación de planes y programas a nivel internacional basados en el manejo forestal sustentable (MFS), como un paradigma general que trata de contemplar tanto los elementos y factores ecológicos como los sociales en el manejo y conservación de bosques. El MFS se ha considerado como el mantenimiento de la contribución de los bosques al bienestar general humano, tanto de las generaciones presentes, como las futuras, sin comprometer su integridad ecosistémica (Sayer, J.A., Vanclay, J. K., Byron, 1997). La integridad ecosistémica contempla la resiliencia al cambio de los sistemas socio-ecológicos, así como su diversidad y funcionalidad genética (Holling, 1973, 2001; Walker, Holling, Carpenter, & Kinzig, 2004).

De enfoques de conservación y manejo del bosque basados en la perspectiva de MFS se han desprendido los esquemas de pago por servicios ambientales forestales como REDD y REDD+, así como otros esquemas de incentivos económicos, transferencia de efectivo y deducciones de cuotas de carbono (carbón offsetting) (Ochieng, Visseren-Hamakers, Arts, Brockhaus, & Herold, 2016). Dichos programas han generado opiniones encontradas en torno a su potencial para conservar el bosque, protegiendo o incrementando su integridad ecológica mientras se mejoran las condiciones generales de bienestar en las comunidades que lo habitan. Muchas de estas críticas resaltan los conflictos sociales, institucionales, históricos, político-económicos y organizacionales que impiden llevar a cabo ambos objetivos (la conservación del bosque y el desarrollo de las comunidades locales) (Caro-Borrero *et al.*, 2015; Neitzel *et al.*, 2014; Perevochtchikova & Oggioni, 2014).

Aunque los objetivos de programas de MFS se han centrado en programas de transferencia de efectivo, y a pesar de la intensa adopción de estas políticas en la agenda de sustentabilidad forestal a nivel internacional, muchos de los programas de MFS no han sido efectivos para apoyar los esfuerzos de conservación y desarrollo local (Vijge *et al.*, 2016). Algunos de los factores que impiden la implementación exitosa de políticas de MFS se relacionan con la corrupción generalizada que ha generado que los recursos forestales sean cooptados y controlados por elites económicas y políticas. Los sectores más pobres y marginados consecuentemente no reciben los beneficios directos del MFS (McCall, 2016; Perevochtchikova & Oggioni, 2014).

A pesar de los criticismos, planes y programas de MFS han sido ampliamente adoptados a diversas escalas, sin embargo, no han sido aplicados al punto de notar una mejoría en la situación general de degradación de los bosques. La implementación de políticas de MFS requiere subsanar complejos problemas económicos, políticos y sociales que controlan la deforestación y la degradación general de los bosques. Además, es necesario adoptar marcos analíticos dentro del MFS que tomen en consideración la provisión de

servicios ambientales y la compleja dinámica ecológica de los bosques. De acuerdo con el Millenium Ecosystem Assessment (2005a), el nuevo imperativo en torno a la sustentabilidad forestal es desarrollar políticas para gestionar la capacidad de los bosques para hacer frente y adaptarse a los cambios globales. Responder a esta necesidad imperativa exige nueva información y nuevos conocimientos que se deriven de aproximaciones científicas y tecnológicas avanzadas y más eficaces para implementar inventarios forestales y monitoreo. Dichos programas requieren necesariamente de la participación de las comunidades locales en la toma de decisiones sobre el manejo y uso forestal, y fortalecer el diálogo y la cooperación con los responsables de otros sectores a diferentes escalas.

Ecosistemas forestales y provisión de servicios ambientales

Existen dos posturas fundamentales para entender las dinámicas ecológicas; las posturas tradicionales que conciben a los ecosistemas en equilibrio y estaticidad, haciéndolos relativamente predecibles; y los postulados de la nueva ecología, que analizan a los ecosistemas en complejos y dinámicos estados, en los cuales domina la incertidumbre (Calderón-Contreras, 2010; Hodbod & Adger, 2014; Holling, 1973). Es en esta última perspectiva en la que recientes análisis sugieren que para entender las complejas relaciones entre hombre y naturaleza, es necesario enfocarse en los servicios ambientales que esta provee. Dichas aproximaciones a la sustentabilidad, usan el concepto de servicios ambientales para plantear esfuerzos de manejo y conservación forestal (Andersson, Tengö, McPhearson, & Kremer, 2015; Lee, Ahern, & Yeh, 2015; Sieber & Pons, 2015). Recientes investigaciones enfocadas en la provisión de servicios ambientales forestales han incluso cuestionado las políticas públicas basadas en posturas tradicionales de la ecología. Por ejemplo, se ha ilustrado con el caso del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, que el obstáculo principal para la sustentabilidad del bosque de esta área no es la pérdida del equilibrio ecológico debido al clareo sistemático de grandes áreas forestadas, sino a la reducción de la densidad de su cobertura, que a su vez reduce la provisión de servicios ambientales eficientes (Endara-Agramont, A., R. Calderón-Contreras, G. Nava-Bernal and S. Franco-Maass, 2013).

Los servicios ambientales o ecosistémicos son definidos como los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas. Estos incluyen servicios de provisión, como agua potable y comida; servicios de regulación y control, de enfermedades o inundaciones, por ejemplo; servicios culturales, como el desarrollo de valores espirituales o la recreación; y servicios de soporte, como los ciclos biogeoquímicos que mantienen las condiciones de vida en la

Tierra (MEA, 2003). Una de las premisas fundamentales de las nuevas aproximaciones a la sustentabilidad forestal radica en tomar en consideración la importancia de los servicios ambientales. El enfoque de servicios ambientales además permite tomar en consideración otras perspectivas que no se han incluido en las discusiones de sustentabilidad actuales; un ejemplo es la resiliencia al cambio climático. Recientes investigaciones que vinculan la dotación de servicios ambientales forestales han encontrado que los bosques contribuyen a mitigar los efectos del cambio climático, proporcionando las bases para la construcción de sociedades más resilientes (Biggs *et al.*, 2012; Calderón-Contreras, 2016; Kotzee & Reyers, 2016; Martos, Pacheco-Torres, Ordóñez, & Jadraque-Gago, 2016).

Basta analizar algunos datos relevantes de los bosques a nivel mundial, para resaltar la importancia de la provisión de servicios ambientales, y su potencial para diseñar políticas y mecanismos de sustentabilidad más inclusivas y con un corte transdisciplinario. Uno de los servicios ecosistémicos más importantes es la provisión de agua potable. Los bosques son ecosistemas autorregulados, es decir, producen sus propios insumos para subsistir. El caso del agua es el más notorio. Más de tres cuartas partes del agua potable accesible en el mundo proviene de cuencas forestadas (MEA 2005a). La disminución de la calidad del agua producida en los bosques es una condicionante para incrementar riesgos asociados a inundaciones, deslizamientos de ladera, erosión y pérdida de productividad agrícola. El caso de la provisión de agua potable por los bosques es un ejemplo de las complejas interconexiones que existen entre los diferentes tipos de servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas.

El cambio de uso de suelo forestal, principalmente a usos agrícolas ha generado profundos impactos en la provisión de servicios ambientales. Uno de los más notorios es la pérdida de la biodiversidad. De acuerdo a recientes investigaciones, la pérdida de biodiversidad tanto funcional como genética en el mundo es consecuencia directa de la pérdida de cobertura forestal; lo cual está asociado a una evidente reducción en la capacidad local para adaptarse a cambios climáticos (Biermann, 2012; Fang, Heijungs, & De Snoo, 2015; Mace *et al.*, 2014).

Los efectos negativos de la deforestación y la pérdida de servicios ecosistémicos forestales son notorios primeramente a escala local. Las comunidades locales dependen directamente de los bosques, que al ver mermada su capacidad de provisión de servicios ambientales, generan bajos niveles de desarrollo económico y social (MEA 2005a; Thang, 2003). Sin embargo, efectos negativos también se hacen evidentes en escalas y unidades espaciales que no necesariamente tienen contacto geográfico con los bosques.

Las contingencias ambientales en la Ciudad de México (tanto relacionadas con la calidad del aire y la disponibilidad de agua potable) son efectos directos de la reducción de la provisión de servicios ambientales provistos por las zonas forestadas periurbanas.

Históricamente, la importancia económica fundamental de los bosques se redujo a la madera y su valor comercial. La demanda de madera para la producción de carbón y leña (la utilización de la madera como fibra y combustible continua siendo el uso más importante que se les da a los bosques) ha generado que las plantaciones industriales y extensivas sustituyan a bosques naturales, estimulando el desarrollo de tecnología encaminada a hacer más eficiente el uso de la madera, pero resultando en cambios en los diferentes servicios ecosistémicos provistos de manera natural por los bosques (MEA 2005a). La importancia de la provisión de servicios ecosistémicos forestales permite replantear la importancia de los esfuerzos por hacer más sustentable el bosque. Los servicios forestales en el contexto global del Antropoceno superan el valor de mercado de los productos forestales como la madera. Este tipo de valoraciones no económicas son rara vez abordadas por las políticas públicas de restauración y conservación de los bosques. Sin duda alguna es una ventana de oportunidad para el desarrollo de nuevas tecnologías, nuevas ideas y nuevas concepciones sobre la importancia de los bosques y sus servicios.

Conclusiones

Existen retos y oportunidades en la implementación y el diseño de políticas públicas y mecanismos para asegurar la sustentabilidad de los bosques. Los datos arrojados por el uso y conservación de ecosistemas forestales a nivel global permiten discernir sobre el potencial para generar estrategias de manejo forestal sustentable a nivel regional y local. Es innegable que del futuro de los bosques depende en gran medida nuestra supervivencia como especie. Es ahora el momento para sortear el máximo reto de la sustentabilidad actual; la posibilidad de traducir el discurso político y los marcos teóricos de sustentabilidad en acciones reales de implementación que se reflejen en la mejoría general de los bosques.

El Antropoceno sin duda implica serios desafíos para la sustentabilidad. Es importante considerar que el término debe evolucionar para adaptarse a los riesgos y presiones naturales y antrópicas que afronta el planeta tierra. Nuestra adaptación a las nuevas condiciones climáticas y sociales depende directamente de las acciones que se tomen en relación a la protección ambiental. El marco general de los servicios ambientales permite valorar desde una perspectiva diferente la importancia de los bosques para la sustentabilidad general del planeta.

Bibliografía

- Andersson, E., M. Tengö, T. McPhearson y P. Kremer (2015). *Cultural ecosystem services as a gateway for improving urban sustainability*, *Ecosystem Services*, 12, pp. 165–168.
- Bai, X., S. Van der Leeuw, K. O'Brien, F. Berkhout, F. Biermann, E. S. Brondizio y J. Syvitski (2015), *Plausible and desirable futures in the Anthropocene: A new research agenda*, *Global Environmental Change*.
- Biermann, F. (2012), *Planetary boundaries and earth system governance: Exploring the links*, *Ecological Economics*, 81, pp. 4-9.
- Biermann, F., X. Bai, N. Bondre, W. Broadgate, C.-T. Arthur Chen, O. P. Dube K. C. Seto (2015), *Down to Earth: Contextualizing the Anthropocene*, *Global Environmental Change*.
- Biggs, R., M. Schlüter, D. Biggs, E. L. Bohensky, S. BurnSilver, G. Cundill y P. C. West (2012), "Toward principles for enhancing the resilience of ecosystem services", *Annual Review of Environment and Resources*, 37(1), pp. 421-448.
- Billington, C., V. Kapos, M. S. Edwards, S. Blyth y S. Iremonger (1996), *Estimated Original Forest Cover Map — A First Attempt*, Oxford, WCMC.
- Calderón Contreras, R. (2013), "The Concept of Resilience in Climate Change Policy Design In North America", *Voices of Mexico*, 95, pp. 115-117.
- (2010), "Between environmental policy and scientific knowledge: How might dryland environments challenge ideas regarding ecological dynamics?", *Ciencia Ergo Sum*, 17(1), pp. 81-87.
- (2016), "El rol de las áreas naturales periurbanas para la resiliencia al cambio climático de las metrópolis: El caso de la Ciudad de México", *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 25, pp. 69-79.
- Calderón-Garcidueñas, L., R. J. Kulesza, R. L. Doty, A. D'Angiulli, y R. Torres-Jardón (2015), "Megacities air pollution problems: Mexico City Metropolitan Area critical issues on the central nervous system pediatric impact", *Environmental Research*, 137, pp. 157-69.
- Caro-Borrero, A., E. Corbera, K. C. Neitzel y L. Almeida-Leñero (2015), "We are the city lungs", *Payments for ecosystem services in the outskirts of*

- Mexico City*. Land Use Policy, 43, pp. 138-148. Disponible en <http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.11.008>
- Endara-Agramont, A., R. Calderón-Contreras, G. Nava-Bernal y S. Franco-Maass (2013), "Analysis of fragmentation processes in high-mountain forests of the Centre of Mexico", *American Journal of Plant Science*, 4(3A), pp. 697-704.
- Exner, A., E. Politti, E. Schriefl, S. Erker, R. Stangl, S. Baud y G. Stöglehner (2016), "Measuring regional resilience towards fossil fuel supply constraints. Adaptability and vulnerability in socio-ecological Transformations -- The case of Austria", *Energy Policy*, 91, pp. 128-137.
- Fang, K., R. Heijungs y G. R. de Snoo (2015), "Understanding the complementary linkages between environmental footprints and planetary boundaries in a footprint-boundary environmental sustainability assessment framework", *Ecological Economics*, 114, pp. 218-226.
- Heikkurinen, P., J. Rinkinen, T. Järvensivu, K. Wilén, y T. Ruuska (2016), "Organizing in the Anthropocene: an ontological outline for ecocentric theorizing", *Journal of Cleaner Production*, 113, pp. 705-714.
- Hodbod, J. y W. N. Adger (2014), "Integrating social-ecological dynamics and resilience into energy systems research", *Energy Research & Social Science*, 1, pp. 226-231.
- Holling, C. S. (1973), "Resilience and Stability of Ecological Systems", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), pp. 1-23.
- Holling, C. S. (2001), "Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems", *Ecosystems*, 4(5), pp. 390-405.
- Kotzee, I. y B. Reyers (2016), "Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: A composite index approach. Ecological Indicators", 60, pp. 45-53.
- Lee, Y.-C., J. Ahern y C.-T. Yeh (2015), "Ecosystem services in peri-urban landscapes: The effects of agricultural landscape change on ecosystem services in Taiwan's western coastal plain", *Landscape and Urban Planning*, 139, pp. 137-148.
- Mace, G. M., B. Reyers, R. Alkemade, R. Biggs, F. S. Chapin, S. E. Cornell y G. Woodward (2014), "Approaches to defining a planetary boundary for

- biodiversity”, *Global Environmental Change*, 28, pp. 289-297.
- Martos, A., R. Pacheco-Torres, J. Ordóñez y E. Jadraque-Gago (2016), “Towards successful environmental performance of sustainable cities: Intervening sectors. A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, pp. 479-495.
- McCall, M. K. (2016), “Beyond ‘Landscape’ in REDD+: The imperative for ‘Territory’”, *World Development*, 85, pp. 58-72.
- Meerow, S., J. P. Newell y M. Stults (2016), “Defining urban resilience: A review”, *Landscape and Urban Planning*, 147, pp. 38-49.
- MEA (Millenium Ecosystem Assessment) (2003), *Ecosystems and Human Wellbeing: A Framework for Assessment*, Washington D.C., Island Press.
- (2005a), *Chapter 21. Forest and Woodland Systems*, Washington D.C., Island Press.
- (2005b), *Chapter 22. Dryland Systems*. Washington D.C., Island Press.
- Neitzel, K. C., A. P. Caro-Borrero, D. Revollo-Fernandez, A. Aguilar-Ibarra, A. Ramos y L. Almeida-Leñero (2014), “Paying for environmental services: Determining recognized participation under common property in a peri-urban context”, *Forest Policy and Economics*, 38, pp. 46-55.
- Ochieng, R. M., I. J. Visseren-Hamakers, B. Arts, M. Brockhaus y M. Herold (2016), “Institutional effectiveness of REDD+ MRV: Countries progress in implementing technical guidelines and good governance requirements”, *Environmental Science & Policy*, 61, pp. 42-52.
- Perevochtchikova, M. y J. Oggioni (2014), “Global and Mexican analytical review of the state of the art on ecosystem and environmental services: A geographical approach”, *Investigaciones Geográficas*, 85, pp. 47-65.
- Pérez-Campuzano, E., V. S., Avila-Foucat y M. Perevochtchikova (2016), “Environmental policies in the peri-urban area of Mexico City: The perceived effects of three environmental programs”, *Cities*, 50, pp. 129-136.
- Quintas-Soriano, C., A. J. Castro, H., Castro y M. García-Llorente (2016), “Impacts of land use change on ecosystem services and implications for human well-being in Spanish drylands”, *Land Use Policy*, 54, pp. 534-548.

- Rockström, J., G. A. Stordalen y R. Horton (2016), "Acting in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission", *The Lancet*.
- Sayer, J. A., J. K. Vanclay y N. Byron (1997), "Technologies for sustainable forest management: challenges for the 21st. Century", *Ocassional Paper*, 12, CIFOR, p. 12.
- Schewenius, M., T., McPhearson y T. Elmqvist (2014), "Opportunities for increasing resilience and sustainability of urban social-ecological systems: Insights from the Urbes and the cities and biodiversity outlook projects", *Ambio*, 43(4), pp. 434-444.
- Shackleton, C. M. y S. E. Shackleton (2006), "Household wealth status and natural resource use in the Kat River valley, South Africa", *Ecological Economics*, 57(2), pp. 306-317.
- Sieber, J. y M. Pons (2015), "Assessment of urban ecosystem services using Ecosystem Services Reviews and GIS-based Tools", *Procedia Engineering*, 115, pp. 53-60.
- Thang, H. C. (2003), "Current perspectives on sustainable forest management and timber certification", vol. A, Quebec. Forest for People Proceedings of the 12th World Forestry Congress, pp. 307-314.
- Thomas, C. D. (2015), "The Anthropocene Speciation Hypothesis Remains Valid: Reply to Hulme et al", *Trends in Ecology & Evolution*.
- Veland, S. y A. H. Lynch (2016), "Scaling the Anthropocene: How the stories we tell matter", *Geoforum*, 72, pp. 1-5.
- Vijge, M. J., M. Brockhaus, M. Di Gregorio y E. Muharrom (2016), "Framing national REDD+ benefits, monitoring, governance and finance: A comparative analysis of seven countries", *Global Environmental Change*, 39, 57–68.
- Walker, B., C. S. Holling, S. R. Carpenter y A. Kinzig (2004), "Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems", *Ecology and Society*, 9(2), p. 5.
- WRI (World Resources Institute) (1992), World resources 1992-1993. *A guide to the global environment*, Nueva York y Oxford, Oxford University Press.

Aspectos socio-culturales



Derechos y justicia ambiental

*Sandra Elizabeth Álvarez Orozco
Bernardo Bolaños Guerra
Oscar Adán Castillo Oropeza
Montserrat Cayuela Gally*

Introducción

Los derechos humanos son el reconocimiento en favor de todo ser humano de un bien fundamental que debe ser protegido (alimentación, vivienda, libertad religiosa, medio ambiente sano, etc.). Por su parte, la justicia significa desde hace miles de años el equilibrio y proporcionalidad en el trato a las personas, como leemos en el libro V de la *Ética Nicomaquea* de Aristóteles. En particular, el concepto de justicia ambiental surgió en Estados Unidos como resultado de la lucha de comunidades negras en contra de incineradoras y vertederos de residuos tóxicos que fueron situados cerca de sus lugares de residencia (Guha y Alier, 1997). La justicia ambiental se relaciona con los derechos al medio ambiente sano, al agua, a la alimentación, entre otros, así como con la búsqueda de igualdad en la distribución de riesgos ambientales y en las políticas públicas anticontaminación, de protección de áreas naturales, de disposición de residuos peligrosos, entre otras.

Derechos humanos y sustentabilidad ambiental

El artículo 4º de la Constitución Mexicana, párrafo quinto, señala que:

"Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley."

Medio ambiente sano es un concepto muy general. Pero México ha ratificado tratados internacionales en los cuales dicho concepto se concreta. Medio ambiente sano supone un medio ambiente no sólo libre de grave contaminación, sino fértil (donde el suelo no se haya degradado por desertificación debida al cambio climático).¹ Implica un medio ambiente donde los rayos ultravioleta que provienen del sol no causen cáncer de piel a un porcentaje

arbitrariamente elevado de la población, por la desaparición de ese escudo que es la capa de ozono.² Igualmente, supone un medio ambiente donde existan otras especies animales y vegetales que nos den proteínas, carbohidratos, grasas y vitaminas suficientemente diversas.³ En resumen, un medio ambiente sano es un medio ambiente sustentable (que soporte nuestra vida y que él mismo se sostenga).

El informe Brundtland de 1987 definió a la sustentabilidad como la capacidad de satisfacer necesidades de la generación humana actual, sin que esto suponga la anulación del hecho de que las generaciones futuras también puedan satisfacer sus propias necesidades. La sustentabilidad es un principio jurídico obligatorio en México, de acuerdo con el *Convenio sobre la diversidad biológica*, que establece:

Artículo 1º: Los *objetivos del presente Convenio*, que se han de perseguir de conformidad con sus disposiciones pertinentes, son *la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes* y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos, mediante, entre otras cosas, un acceso adecuado a esos recursos y una transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, teniendo en cuenta todos los derechos sobre esos recursos y a esas tecnologías, así como mediante una financiación apropiada.

El propio convenio aclara que

"Por 'utilización sostenible' se entiende la utilización de componentes de la diversidad biológica de un modo y a un ritmo que no ocasiona la disminución a largo plazo de la diversidad biológica, con lo cual se mantienen las posibilidades de ésta de satisfacer las necesidades y las aspiraciones de las generaciones actuales y futuras."

1. Artículo 4.2a. de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en Particular en África: "Para lograr el objetivo de la presente Convención, las Partes: (a) adoptarán un enfoque integrado en el que se tengan en cuenta los aspectos físicos, biológicos y socioeconómicos de los procesos de desertificación y sequía".
2. Artículo 2.1. del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono: "Las Partes tomarán las medidas apropiadas, de conformidad con las disposiciones del presente Convenio y de los protocolos en vigor en que sean parte, para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos resultantes o que puedan resultar de las actividades humanas que modifiquen o puedan modificar la capa de ozono".
3. Convenio sobre la diversidad biológica, adoptado en Río de Janeiro, Brasil, el 5 de junio de 1992.

En la Constitución Mexicana también está previsto el derecho al agua. Toda persona debe tener garantizada agua suficiente, salubre, aceptable y asequible económicamente. Sin embargo, más de cuatro mil niños mueren al año en México por enfermedades relacionadas con la mala calidad del agua. Por otro lado, dado que la iniciativa privada, a través del mercado, no garantiza que cada persona tenga los suficientes litros de agua para saciar su sed, ducharse y lavar, el Estado debe garantizar este derecho. Por ello, en los hechos, la satisfacción del derecho al agua requiere que los municipios cuenten con suficientes recursos y que la sociedad civil se oponga a la mercantilización de este bien común (Pacheco, 2015).

También existe un derecho humano a la alimentación. Cuando choca con otros derechos fundamentales, los funcionarios y jueces deben hacer una ponderación. Pongamos un ejemplo futurista con rasgos de ciencia ficción: Existe una libertad de cada persona de decidir el número y espaciamiento de los hijos. Imaginemos, caso no muy alejado de los escenarios demográficos, que estuviésemos en el año 2060 y que la humanidad ha alcanzado 10 millardos de seres humanos (recordemos que en 2011 rebasamos los 7 millardos). Supongamos también que el cambio climático, la degradación de la fertilidad del suelo por contaminación y la pérdida de biodiversidad haga imposible alimentar a esa cantidad de personas. El Tribunal Internacional de Derechos y Sustentabilidad (institución imaginaria ubicada, digamos, en Brasilia) debe decidir entre limitar el derecho humano a decidir el número de hijos y la sustentabilidad ambiental y social. Para ponderar, se auxilia de la fórmula matemática del peso de los derechos fundamentales del profesor de derecho alemán Robert Alexy, desarrollada en el 2002 (véase fórmula 1 de Alexy, 2002).⁴

$$W_{i,j} = \frac{I_i \cdot W_i \cdot R_i}{I_j \cdot W_j \cdot R_j}$$

Se trata de una optimización del peso del derecho a la alimentación frente al peso del derecho a decidir el número de hijos. Tales derechos tienen, en primer lugar, un peso abstracto W (*weight*) según los tratados internacionales y textos constitucionales donde se encuentren, es decir, tienen una jerarquía. Nuestros jueces imaginarios llegan a la conclusión de que el derecho a la alimentación tiene un valor altísimo de 9 en una escala de 10, mientras que el derecho a tener más de un hijo tiene un valor muy alto, de 8. Luego, calculan el peso concreto de tales derechos, a partir de la interferencia que sufren por colisión con otros derechos, I (*interference*). En nuestro ejemplo tienen en cuenta la calidad de los suelos y ecosistemas del planeta, entre otros factores,

⁴ La primera versión de dicha fórmula apareció en el "postscript" de Alexy a su libro, *A Theory of Constitutional Rights* (2002).

frente al nivel de productividad y de desarrollo tecnológico alcanzado en 2060. Los jueces deciden que, aunque la innovación tecnológica ha llegado a un nivel muy alto (8), la pérdida de resiliencia y la vulnerabilidad ambiental llegan a ser altísimas (9). Así, hemos llenado la mayoría de las variables de la fórmula de la ponderación. Sólo falta estimar el peso de la confiabilidad de las anteriores estimaciones, R (*reliability*). Los jueces escuchan la opinión de los más reconocidos demógrafos y agrónomos, entre otros científicos, y llegan a la conclusión de que el nivel de pruebas experimentales y estadísticas de los razonamientos anteriores es de 7 para R_i y de 8 para R_j .

Frente a los anteriores supuestos y usando la fórmula de Alexy, la ponderación final es favorable a la protección preferente del derecho a la alimentación frente al respeto de la libertad de decidir el número de hijos.⁵ Tal decisión no significaría que los jueces son robots y aplican un algoritmo. Como cualquiera puede constatar, esta fórmula difiere de las empleadas en química o física. Lo importante no es derivar un teorema deductivamente como consecuencia necesaria de las premisas, sino apreciar el valor de los derechos humanos y de principios jurídicos como es la sustentabilidad. Tratándose de personas autónomas, sujetas a su conciencia, los jueces tendrían que interpretar los razonamientos anteriores, reflexionar y aceptar las debidas excepciones (Sieckmann, 2012). Por ejemplo, los países que establecieran la política de máximo tres hijos por pareja quizá no violarían derechos humanos, pero sí quienes fueran más severos (exigiendo, como China durante muchas décadas, máximo un hijo único). Seguramente la mayoría de los jueces se opondría a la aplicación de abortos forzados y optarían por el establecimiento de políticas públicas de educación sexual y ambiental, y otras técnicas de conducción de conductas. Como veremos a continuación, la ponderación también puede ser realizada y argumentada por un ciudadano común y presentada en forma de queja ante la Comisión Nacional de Derechos Humanos o comisiones de derechos humanos de los estados.

Justicia ambiental

En los últimos años, el concepto de justicia ambiental ha comenzado a tener auge ya no sólo en Estados Unidos (que fue la nación donde surgió), sino también en los países que forman parte del denominado sur global (antes llamado despectivamente "Tercer Mundo"). En la práctica, sin embargo,

⁵ Los subíndices corresponden a los derechos o principios en pugna (por ejemplo, en nuestro caso i representa el derecho a la alimentación y j la libertad de decidir el número de hijos). Si la cantidad final es positiva, la ponderación favorece a i , si es negativa, el derecho ganador es j .

como consecuencia de las dimensiones que han adquirido los conflictos socioambientales en los países en desarrollo, la sociedad ha encontrado obstáculos y dificultades para la codificación, interpretación y aplicación dentro de los ordenamientos jurídicos vigentes, y ha buscado el uso de medios alternos, como la protesta organizada contra presas hidroeléctricas o minería contaminante.

El derecho de acceso a la justicia ambiental ha llegado a tener una estructura y aplicación muy complejas, a diferencia de otros tipos de derecho cuyo objetivo únicamente es proteger derechos individuales. La justicia ambiental, en particular, se encarga de proteger también aquellos derechos que constituyen la base de un colectivo de personas y/o entidades naturales, incorporando como uno de sus elementos base el principio de justicia intergeneracional, es decir, que el carácter protector de la justicia ambiental no se restrinja exclusivamente a los habitantes actuales de la tierra, sino también a las generaciones futuras.

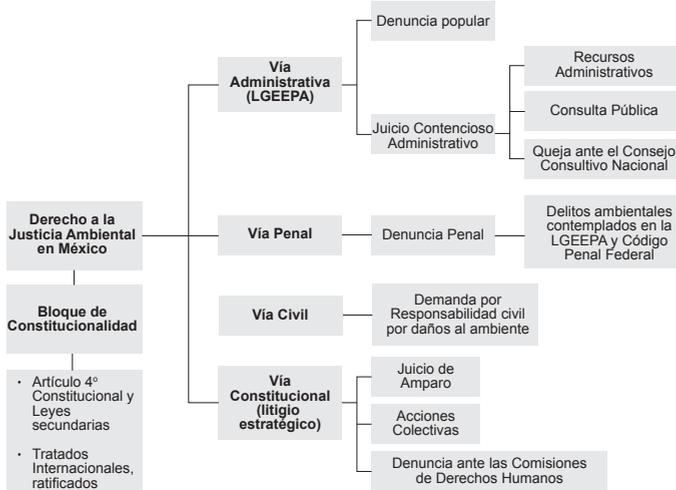
Destaca el *uso alternativo del derecho*, que opera cuando la normativa y las instituciones vigentes no son lo suficientemente sólidas y eficaces para hacer frente a los conflictos existentes, y surgen movimientos sociales como el llamado *ambientalismo popular, ecologismo popular o ecologismo de los pobres* (Castells, 2000), los cuales tienen sus bases en las reivindicaciones y protestas de las clases desfavorecidas por las inequidades y gran desigualdad que se presenta en América Latina, que si bien han estado presentes durante siglos, en las últimas décadas han tenido nuevos significados a causa de nuevos problemas locales generados por la globalización y por los efectos de la crisis ambiental global (Hernández, 2012).

En México, la normatividad jurídica en la que se encuentra el derecho ambiental corresponde al derecho público, específicamente al derecho administrativo, y su aplicación es ejercida ante el Estado por medio de sus tres órdenes de gobierno (municipal, local y federal). Dependiendo del caso concreto, también se puede hacer uso de procedimientos en materia penal, civil y de litigio estratégico en materia de derechos humanos (además o en lugar de la citada vía administrativa).

Podemos clasificar el acceso a la justicia ambiental en cuatro formas o vías principales: *administrativas, penales, civiles y constitucionales*.⁶

⁶ Las distintas vías u opciones de derecho constituyen el "pluralismo jurídico", entendido como "la multiplicidad de prácticas existentes en un mismo espacio sociopolítico, que interactúan por conflictos o consensos, que pueden ser o no oficiales y que tienen su razón de ser en las necesidades existenciales, materiales y culturales" (Wolkmer, 2001).

ESQUEMA 1. ACCESO A LA JUSTICIA AMBIENTAL EN MÉXICO.



Fuente: elaboración propia.

Dentro de la *vía administrativa* destaca la figura de la Denuncia Popular (con fundamento en los artículos 189 al 204 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente, LGEEPA), que es el medio por el que la sociedad puede acudir ante una autoridad ambiental y reclamar actos u omisiones de particulares que dañen al medio ambiente, cuyo trámite se realiza ante la Profepa. En el esquema administrativo se encuentra también la figura del *Juicio Contencioso Administrativo* (Ley Federal de Procedimiento Administrativo, LFPA), el cual opera en contra de resoluciones definitivas, actos administrativos y procedimientos en materia de medio ambiente, dictadas con fundamento en las leyes ambientales; asimismo, sirve para tramitar juicios en contra de normas oficiales mexicanas publicadas en el *Diario Oficial de la Federación*; se lleva ante el Tribunal Federal de Justicia Fiscal y Administrativa. Dentro de dicha vía, los actores pueden hacer uso de otros instrumentos de defensa como los denominados *recursos administrativos*, antes de llegar al juicio de amparo. Existen dentro del esquema administrativo, a su vez, herramientas importantes que surgen de garantías constitucionales, como es el *acceso al derecho a la información* contemplado en el artículo 6º de la Carta Magna y desarrollado en materia ambiental en la LGEEPA. Existen otros dos medios enunciados en la LGEEPA donde se da cabida al ejercicio del derecho a la justicia ambiental por parte de los ciudadanos: la consulta pública⁷ y la *queja ante el Consejo Consultivo Nacional*.⁸

7. Incorporada en 1996 en el artículo 34 de la LGEEPA, es un mecanismo de participación ciudadana que tiene la finalidad de que la sociedad conozca y participe en los procesos de evaluación de los proyectos que son analizados en términos de los impactos a nivel ambiental que puedan conllevar.

La *denuncia penal* (Art 182 de la LGEEPA) es una segunda opción al alcance de la sociedad en materia ambiental, en contra de los delitos ambientales previstos en la legislación penal, local o federal, según se trate. Si como resultado de un proceso se encuentra a alguien culpable de la comisión de un delito de esta naturaleza, se hace acreedor a una pena corporal y a una multa. La *vía civil* ha sido poco aprovechada. De acuerdo con un reporte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) sobre el desarrollo del Derecho Ambiental Latinoamericano y su aplicación, en la región no existen leyes de responsabilidad civil por daños al ambiente y las regulaciones específicas sobre daño ambiental son escasas, por lo cual las normas aplicables son aquellas para la reparación del daño general contenidas en los códigos civiles. En cuanto a las leyes de responsabilidad civil, en México actualmente sólo existe la responsabilidad civil por daños nucleares y un proyecto de ley de responsabilidad civil por daños al ambiente, el cual no ha sido concretado.

La *vía constitucional* toma fuerza a raíz de las reformas constitucionales de 2011, donde el *juicio de amparo* ya no es considerado como el único medio de protección directa de los derechos fundamentales, en contra de los actos arbitrarios del poder público que violenten esos derechos. Ahora existe una nueva modalidad cuyo antecedente son las denominadas *class action* en el derecho anglosajón y que en México denominamos *acciones colectivas*.

Uno de los medios alternativos a los esquema anteriores lo constituyen propiamente las denuncias ante las comisiones de Derechos Humanos, en su ámbito Estatal y Federal, para solicitar que sea garantizada la protección del derecho a un medio ambiente sano estipulado en el artículo 4º. Constitucional, mediante la emisión de recomendaciones ante autoridades y/o personas que violaron el mismo. Cualquier persona, sin necesidad de tener abogado, puede presentar una queja ante dicha comisión.

El acceso a la justicia ambiental presenta varios retos, entre ellos:

- a. El alto costo y el tiempo del litigio, lo que constituye una violación al principio de *prontitud y gratuidad*.
- b. Desigualdad económica y técnica para reclamar justicia ante las partes en el juicio (empresas y sociedad civil, por ejemplo),
- c. La extraordinaria complejidad científico-técnica de los casos ambientales.

⁸. Con fundamento en el artículo 34 de la LGEEPA, otorga la facultad a los ciudadanos, individualmente o a nivel de las ONG, de plantear al Consejo Consultivo Nacional de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) casos o situaciones específicas, solicitando un pronunciamiento o alguna recomendación al respecto ante las autoridades federales.

- d. La naturaleza de los intereses en juego, que habitualmente son *intereses colectivos y difusos*, es decir, de intereses que corresponden a muchas personas, muchas de ellas indeterminadas e indeterminables.
- e. En estos procesos, por otra parte, suele estar comprometido un interés social, lo que a su vez exige la participación de un órgano que represente ese interés.

A los obstáculos o problemas anteriores añadimos que estos casos exigen una preparación especial de sus operadores jurídicos, es decir de los abogados, jueces, ministros y magistrados, pues por lo general no es suficiente con la que se imparte en las licenciaturas en derecho.

De la justicia distributiva a la justicia espacial

Desde hace siglos, en los antiguos Egipto, Grecia y Roma (y más tarde durante la Edad Media europea) las aguas residuales no deseadas y los residuos urbanos eran enviados, principalmente, a las áreas donde residían los grupos más desfavorecidos: pobres y extranjeros (Melosi, 2004). La justicia ambiental vincula el espacio socialmente construido con la calidad del medio ambiente. Se analiza desde esta perspectiva cómo pueden estar vinculadas las desigualdades sociales con una mala calidad del ambiente que puede repercutir en la salud de la población.

La dialéctica sociedad-espacio nos ayuda a tener una comprensión de los fenómenos sociales desde un punto de vista espacial, de esta manera nos podemos preguntar cómo el espacio está involucrado en producir y mantener diferentes procesos de desigualdad. No es igual vivir junto a una barranca que sobre una meseta, al lado de un canal del drenaje que en el litoral. Es por esto que la organización del espacio es una dimensión crucial en las ciencias sociales, pues esta organización refleja influencias y hechos de las relaciones sociales justas o injustas que son visibles en el espacio.

CUADRO 1. DIVERSAS FORMAS DE JUSTICIA DESDE LA PERSPECTIVA AMBIENTAL

Tipo de justicia	Definición
Justicia distributiva	Reparto proporcional de bienes, igualdad de oportunidades.
Justicia procedimental	Legitimidad de los procedimientos jurídicos porque existe simetría y todos los interesados poseen voz.
Justicia correctiva	Equidad en las penas y reparación de pérdidas.
Justicia social	Integra las preocupaciones ambientales en una agenda, con igualdad de trato, sin importar condición social.

<i>Tipo de justicia</i>	<i>Definición</i>
Justicia ambiental	Igualdad de derechos ante los impactos nocivos del medio ambiente contaminado, justa distribución de riesgos.
Justicia espacial	Articulación de la idea de justicia con el espacio geográfico.

Fuente: Elaboración propia basada en los datos de Kuehn (2000) y en la definición de justicia ambiental de Martínez (2000) y justicia espacial de E. Soja (2014).

La justicia ambiental es un concepto que comenzó a estudiarse y definirse hacia 1980 en Estados Unidos, teniendo como origen la lucha de sectores pobres y minorías étnicas, acerca los impactos nocivos a la salud de desechos tóxicos en zonas de vivienda y escolares.⁹ En un principio se le llamó "racismo ambiental", aludiendo a que los vertederos estaban ubicados en comunidades negras y/o hispanas.

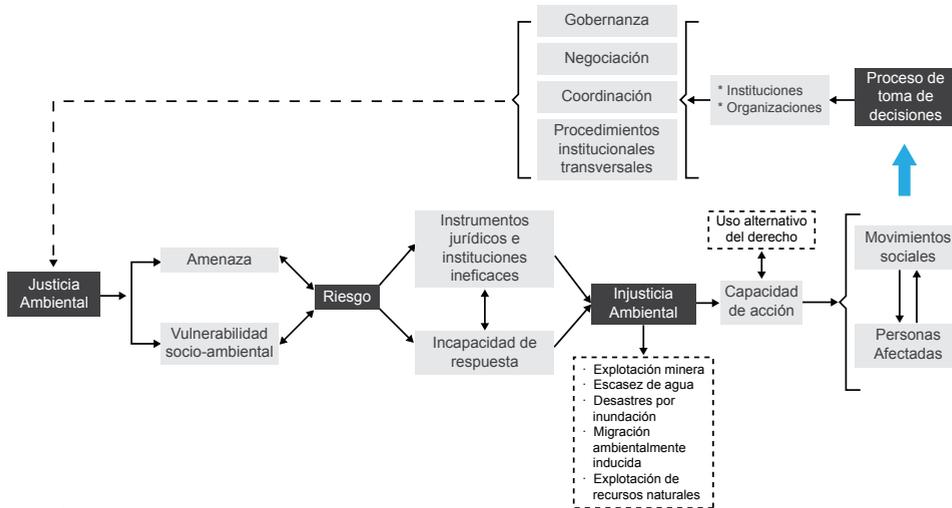
En Latinoamérica, en un principio se le asoció al ya mencionado ecologismo de los pobres que Martínez (2011) define como la destrucción o contaminación de bienes comunes de minorías étnicas, a partir de lo cual surge la defensa de estos bienes por parte de las poblaciones pobres o indígenas, motivadas por la necesidad de supervivencia.

La justicia ambiental, entonces, vincula el medio ambiente con los derechos humanos, así como con la exposición desigual al riesgo. También destaca la importancia de la toma de decisiones ambientales con la participación de la población de manera equitativa, sin importar condición social, etnia o género. Dicha justicia no sólo busca asegurar que todas las comunidades tengan la misma protección frente a los riesgos ambientales, también busca la igualdad de derecho a un ambiente sano.

En el esquema 2 podemos ver los factores y procesos que están involucrados en la justicia ambiental. En primer lugar tenemos la exposición al riesgo ambiental (amenaza y vulnerabilidad sumadas) que tiene una población; en concreto, por explotación minera, inundaciones, falta de agua y otras causas. Ello produce conflictos ambientales que desembocan en respuestas estatales (gobernanza ambiental). Se trata de un ciclo que va de la presencia de riesgos de desastres "naturales" ligados a factores socioeconómicos (como son la marginación y la pobreza), hacia el proceso de toma de decisiones y que vuelve a empezar.

⁹ El Atlas global de justicia ambiental tiene más de 1 600 casos analizados, que clasifica por categoría, proyecto, conflicto, resistencia, impactos, entre otros. Cada día existen más estudios y nociones acerca de la justicia ambiental. Disponible en <http://ejatlas.org>

ESQUEMA 2. FACTORES Y PROCESOS A TENER DISPONIBLE EN CUENTA EN LA JUSTICIA AMBIENTAL.



Fuente: Elaboración propia.

La cartografía (uso de mapas) se ha convertido en una poderosa herramienta para el estudio de la justicia ambiental. Tenemos varios ejemplos disponibles, como el *Atlas de justicia ambiental* de Martínez Allier (2014). También, numerosos artículos de investigación utilizan la cartografía para mostrar los resultados de investigaciones de justicia ambiental. En Francia se hizo un estudio donde se mide la contaminación en líquenes de una zona industrial, para poder cartografiar los más afectados por la contaminación y su distribución espacial en las zonas habitadas. Se probó que los barrios más desfavorecidos están cerca de las zonas de mayor contaminación (Occelli *et al.*, 2016).

Actualmente, las investigaciones de justicia ambiental se basan en el cálculo de la cercanía de fuentes contaminantes, como fábricas o vertederos de basura a colonias (clasificadas según su nivel socioeconómico). Se trata de representar la distribución espacial de la contaminación y medir la justicia en el reparto de los riesgos ambientales.

Vulnerabilidad socioambiental y riesgo

En ocasiones, pareciera que la justicia ambiental como concepto y movimiento social pone énfasis únicamente en la inequidad de la distribución de los desechos o en la exposición de poblaciones de escasos recursos a mayores riesgos ambientales (Cutter, 2003, 2006). Pero esta perspectiva sería cuestionable, porque generaliza la externalización de los efectos negativos

de la toma de decisiones en perjuicio de aquellos grupos socialmente segregados por su raza y condición social. Es decir, supuestamente los efectos negativos de la producción y transformación de la naturaleza estarían siempre socialmente determinados.

Sin embargo, en el mundo contemporáneo el riesgo de desastre es ubicuo, no es elegido en cada situación concreta por los grupos sociales. La creación-acumulación de riqueza a escala global va acompañada de una producción y distribución generalizada del riesgo, pues el riesgo es producto de la acción humana, de los avances tecnológicos en la manipulación de la naturaleza, y nadie puede escapar de su presencia (Beck, 1997, 2007).

Pensemos en la Ciudad de México. Desde la Conquista, se crearon canales para sacar el agua de la cuenca, porque el lago obstaculizaba la construcción de la ciudad colonial y el uso de caballos. Hoy en día se amplía la red del drenaje profundo para sacar el agua hacia la periferia de la metrópolis, afectando a una gran cantidad de población, no sólo a los pobres, dado que los canales de aguas residuales y drenajes atraviesan por diferentes lugares con distintas características socioespaciales.

El riesgo es la condición del ser/estar en la vida moderna. Al respecto, Giddens manifiesta que la presencia del riesgo en general se da en todos los momentos de la vida cotidiana por la pérdida de la fiabilidad en los sistemas expertos (la ciencia y la política, principalmente). La presencia del riesgo es causada por la pérdida de la seguridad ontológica que antes era posible gracias a los avances tecnológicos y organizativos, cuando la sociedad era menos compleja que hoy (Giddens, 1990).

Es necesario ampliar la escala socioespacial de la justicia ambiental que vimos en el apartado anterior y relacionarla con otros procesos, más allá de la distribución inequitativa. La finalidad debe ser comprender la heterogeneidad de los fenómenos socioambientales (no sólo la cercanía de vertederos de desechos tóxicos a barrios pobres). Lo anterior vale tanto para el norte como para el sur global, así como para distintos actores sociales con percepciones, discursos y acciones propias.

Para Miriam Alfie (2015), la justicia ambiental requiere no sólo de un análisis sobre la distribución equitativa de bienes y cargas ambientales, sino también y de manera fundamental, de una mayor participación pública en la evaluación y la toma de decisiones. Además, esta especialista mexicana menciona que es necesario efectuar un análisis completo de las inequidades raciales, sociales y ambientales asociadas a distintos procesos sociohistóricos que en mucho difieren entre los países del norte y sur global. Pero eso no significa que la justicia ambiental sea un tema exclusivo del ambientalismo de los pobres.

En la actualidad, algunos autores proponen que para el estudio de los desastres, desde la perspectiva de la justicia ambiental, es necesario discutir qué factores provocan y cómo se presenta la producción y reproducción de determinadas condiciones de vulnerabilidad socioambiental que, aunadas a las amenazas naturales, incrementan el riesgo de desastre en determinados lugares, como las zonas periurbanas de las ciudades (Campos *et al.*, 2015; Maantay y Maroko, 2009; Montgomery y Chakraborty, 2013, 2015). Debemos tener presente que los desastres son procesos sociohistóricos y territorialmente visibles, ligados al menos a los siguientes elementos ya plasmados en el esquema 2: 1) el riesgo, 2) la amenaza y 3) la vulnerabilidad (véase Cardona, 1993; García, 2005; Lavell, 1993).

El riesgo significa la anticipación no efectiva de la catástrofe. Es un acontecimiento que no conoce concreción espacio-temporal, ni social (Beck, 2006). Es una categoría cuya realidad es discutible, pues contiene una serie de posibilidades no previstas, pero que tampoco son mera especulación. Los riesgos se expanden en el mundo; no tienen límites.

De acuerdo con Omar Cardona (1993), amenaza y riesgo no son lo mismo, pero suelen confundirse en el estudio de los desastres. La amenaza es la probabilidad de ocurrencia de un evento natural potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado, mientras que el riesgo es la posibilidad de que ocurra un desastre, dadas la vulnerabilidad y la amenaza. Por otra parte, Niklas Luhmann (1992, 1996) hace una diferenciación entre riesgo y peligro. La diferencia yace en el origen de las causas negativas para la población. Así, el peligro es una situación dañina de origen externo, mientras que el riesgo se refiere a los posibles daños como consecuencia de decisiones tomadas conscientemente.

Problemas ambientales como el cambio climático, la contaminación o la pérdida de biodiversidad nos afectan a todos, lo mismo que el riesgo ambiental en todas sus variantes, por inundaciones, deslaves, sequías, terremotos o accidentes industriales. Pero estos procesos no se viven y perciben igual en todos los países, regiones o localidades del mundo; las experiencias son distintas. Al respecto, Beck menciona que “[...] las capacidades de enfrentarse a las situaciones de riesgo, de evitarlas, de compensarlas, parecen estar repartidas de manera desigual para capas de ingresos y de educación diversas” (Beck, 2006: 41). Pero los factores relevantes (zonas áridas, sísmicas, inundables, de vivienda autoconstruida o estatalmente planificadas, etc.) no pueden ser capturados en toda su complejidad mediante las oposiciones binarias pobres/ ricos, desarrollados/ tercermundistas. La presencia de los riesgos ambientales en la escena mundial tendría que analizarse de acuerdo con la categoría socialmente construida de vulnerabilidad, conjuntamente con la de

amenaza natural (Cardona, 1993; Lavell, 1993). En ese sentido, la vulnerabilidad se refiere a las características de una persona o grupo y su situación que influyen en su capacidad para anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural (un evento natural extremo) (Blaikie *et al.*, 1996). Implica una combinación de factores que determinan el grado al que la vida de alguien, sus bienes de subsistencia, la propiedad y otros se ponen en peligro por un evento discreto e identificable (o serie o cascada de éstos) en la naturaleza y en la sociedad (Wisner *et al.*, 2004).

La vulnerabilidad está delimitada por ciertas condiciones estructurales que a su vez inciden en la caracterización de los sujetos. Es algo dinámico y gradual que permite interpretar la movilidad social de las personas, la construcción del espacio en donde habitan y sus formas de acción ante la presencia de situaciones de riesgo (Wisner *et al.*, 2004). Pero es importante recalcar que si nos quedamos con estos supuestos estaríamos analizando sólo la parte estructural (macro) del problema y caeríamos en respuestas simples, como decir que las inundaciones en la periferia de las ciudades siempre ocurren por la falla de infraestructura hidráulica y afectan por igual a todos los habitantes de tales zonas, incluso cuando su exposición al riesgo de desastre no necesariamente sea la misma. El espacio en esas zonas no es homogéneo.

La vulnerabilidad, como apunta Cutter, debe ser caracterizada no sólo por los factores demográficos que atenúan o incrementan los niveles de riesgo ante los desastres. Es una noción que articula situación y reacción; en un primer momento sí tiene que ver con las características socioeconómicas, ambientales y de decisión política, para después enfatizar, por ejemplo, la capacidad de respuesta de los actores sociales ante la presencia del desastre (Cutter *et al.*, 2009). En resumen, proponemos entender la vulnerabilidad como una acumulación espacio-temporal de condiciones de precariedad social de las poblaciones, teniendo en cuenta las circunstancias ambientales del espacio y la degradación del ambiente.

Estamos frente a temas propios de la teoría de la complejidad, pues al vincular la vulnerabilidad de la población y de su espacio de existencia, frente a un riesgo ambiental, consideramos tanto las condiciones físicas, geográficas y ambientales de su lugar de asentamiento, como las características socioeconómicas, políticas y formas de participación y organización de los actores involucrados en el escenario de riesgo. La vulnerabilidad, el riesgo ambiental y el posible desastre incluyen una gran variedad y variabilidad de factores. Por ejemplo, no se puede analizar y generalizar la presencia del riesgo por inundaciones en determinados lugares como las ciudades y homogenizar sus causas y consecuencias, ya que aunque pueden existir sitios en donde ocurra el mismo evento catastrófico, la diferencia recae en cuáles han sido y cuáles

serán las capacidades sociales, políticas y económicas de respuesta y las formas de adaptación que en un futuro logren prevenir e impedir las pérdidas.

La formación socionatural de las ciudades (Swyngedouw, 2006) como la metrópolis del valle de México, tiene que ver con dinámicas específicas de consumo, desigual repartición de la riqueza, desarrollo de la industria y procesos de poblamiento, segregación socioespacial, hacinamiento poblacional y deterioro ambiental, entre otras. Todos ellos suelen producir distintas condiciones de vulnerabilidad que incrementan el riesgo de desastre.

Los factores de riesgo en el contexto urbano son múltiples y dependen del ámbito en el que tienen lugar, es decir, no sólo a nivel macro, sino también micro. Por ejemplo, la zona metropolitana del valle de México se caracteriza por una pérdida acelerada de las áreas verdes, y por la incorporación de suelos agrícolas a usos de tipo urbano, ya sea habitacional, industrial o comercial. Muchas de estas áreas han sido definidas como “críticas” debido a que las pérdidas podrían ser irreparables, incluyendo el agotamiento de la biodiversidad y la creciente inestabilidad de los ecosistemas, frente a amenazas naturales como las tormentas (Mansilla, 1995).

Esta metrópolis se expande en manera desproporcionada, invadiendo el poco terreno de reserva ecológica que aún rodea la cuenca en la que se erige, depredando sus recursos naturales que son indispensables en el ciclo de vida de los ecosistemas locales. Así, las inundaciones en este lugar han tenido un aumento considerable, provocado por las intensas precipitaciones y las condiciones de vulnerabilidad y riesgo (Legorreta, 2006). Las inundaciones son fenómenos socioambientales que transforman el paisaje de la gran urbe. Su análisis desde la perspectiva de la justicia ambiental implica poner a discusión cuáles han sido los factores que producen la vulnerabilidad socioambiental y cuál es la distribución del riesgo, quiénes son los afectados y cuáles son sus acciones e interacciones ante una situación de desastre.

Bibliografía

Alanís, G. (2015), *Acciones jurídico-ambientales al alcance de los particulares*. Recuperado el 5 de mayo de 2016, de Centro de Estudios Jurídicos y Ambientales. Disponible en http://www.ceja.org.mx/articulo.php?id_rubrique=22&id_article=158

Alexy, Robert (2002), *A theory of constitutional rights*, Oxford, Oxford University Press.

- Alfie, M. (2015), "Conflictos socio-ambientales: la minería en Wirikuta y Cananea", *El Cotidiano*, 191, pp. 97-108.
- Álvarez Rojas, A. M. (2013), "(Des) igualdad socio espacial y justicia espacial: nociones clave para una lectura crítica de la ciudad", *Polis*, 36.
- Arriaga, A. y Mercedes Pardo Buendía (2011), "Justicia ambiental: el estado de la cuestión", *Revista Internacional de Sociología*, 69(3), pp. 627-648.
- Beck, U. (2007), *La sociedad del riesgo mundial*, Barcelona, Paidós.
- Beck, U. (1997), "Teoría de la sociedad del riesgo", en J. Berriain (coord.), *Las consecuencias perversas de la modernidad*, Barcelona, Anthropos, pp. 201-223.
- Beck, U. (2006), *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*, Barcelona, Paidós/ Surcos.
- Blaikie, P. et al. (1996), *Vulnerabilidad: El entorno social, político y económico de los desastres*, Bogotá, La Red/ ITDG.
- Brañes, R. (2001), "El Acceso a la Justicia en América Latina", *PNUMA*, México, Asociación Latinoamericana de Derecho Ambiental A.C.
- Campos, M., A. Toscana y A. J. Campos (2015), "Riesgos siconaturales: vulnerabilidad socioeconómica, justicia ambiental y justicia espacial", Cuadernos de geografía, *Revista de Colombiana de Geografía*, 24(2), pp. 53-69.
- Cardona, O. (1993), "Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo", en A. Maskrey (coord.), *Los desastres no son naturales*, Bogotá, La Red/ ITDG, pp. 45-66.
- Castells, M. (2000), *La era de la información. Economía, sociedad y cultura*, Ciudad de México, Siglo XXI Editores.
- Castro, J. E. (2007), "Water governance in the twentieth-first century", *Ambiente & sociedade*, 10(2), pp. 97-118.
- Cutter, S. (2003), "Social vulnerability to environmental hazards", *Social Science Quarterly* 84(2), pp. 242-261.

- Cutter, S. (2006), *Hazards, vulnerability and environmental justice*, Londres, Earthscan.
- Cutter, S. et al. (2009), *Social vulnerability to climate variability hazards: A review of the literature. Final Report to Oxfam America*, Columbia, Hazards and Vulnerability Research Institute/ University of South Carolina.
- Declaris, M. (2000), *The Law of Sustainable Development General principles*, Bruselas, European Comision.
- Dorsey, M. K. (1997), "El movimiento por la Justicia Ambiental en EE. UU. Una breve historia", *Ecología Política*, pp. 23-32.
- García, A. V. (2005), "El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos", *Desacatos*, 19, pp. 11-24.
- Giddens, A. (1990), *Consecuencias de la modernidad*, Madrid, Alianza.
- Góngora Mera, M. E. (2007), *El bloque de constitucionalidad en Argentina y su relevancia en la lucha contra la impunidad*. Recuperado el 5 de mayo de 2016, de Centro de Derechos Humanos de Nuremberg: http://www.nmrz.de/wp-content/uploads/2009/11/Bloque_Constitucionalidad_Argentina_impunidad.pdf
- Grineski, S. E., T. W. Collins y J. Chakraborty (2013), "Hispanic heterogeneity and environmental injustice: intra-ethnic patterns of exposure to cancer risks from vehicular air pollution in Miami", *Population environmental*, 35(1), pp. 26-44.
- Guha, R. A. y J. Martínez (1997), *Varieties of environmentalism: essays North and South*, Londres, Earthscan.
- Hernández, V., y J. Gonzaga (2012), *El derecho de acceso a la justicia ambiental y sus mecanismos de aplicación en Colombia*, Caldas, Universidad de Caldas.
- Jiménez, A. M. (2010), "Justicia ambiental. Del concepto a la aplicación en análisis de políticas y planificación territoriales", *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 14.
- Kuehn, R. R. (2000), *A taxonomy of environmental justice. Environmental law reporter*, 30.

- Lavell, A. (1993), "Ciencias Sociales y Desastres Naturales en América Latina: un encuentro inconcluso", en A. Maskrey (coord.), *Los desastres no son naturales Bogotá*, La Red/ ITDG, pp. 111-128.
- Legorreta, J. (2006), *El agua y la Ciudad de México. De Tenochtitlan a la Megalópolis del siglo XXI*, México, UAM-A.
- Luhmann, N. (1992), *Sociología del riesgo*, México, UIA/ U de G.
- (1996), "El concepto de riesgo", en J. Beriain (coord.), *Las consecuencias perversas de la modernidad*, Barcelona, Anthropos, pp.123-155.
- Maantay, J. y A. Maroko (2009), "Mapping urban risk: Flood hazards, race & environmental justice in New York", *Applied Geography*, 29 (01), pp. 35-76.
- Mansilla, E. (1995), *Desastres y desarrollo urbano en América Latina*, México, UNAM.
- Martínez-Alier, J. M. (2004), "Los conflictos ecológicos-distributivos y los indicadores de sustentabilidad", *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica (Revibec)*, (1), pp. 21-30.
- Martínez-Alier, J. M. (2008), "Conflictos ecológicos y justicia ambiental", *Revista Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, 103, pp. 11-28
- Martínez-Alier, J. (2014), *Atlas de justicia ambiental*, Barcelona, UAB.
- Martínez-Alier, J. y K. Schlüpmann (1991), *La ecología y la economía*, núm. GTZ-696, Madrid, Fondo de Cultura Económica.
- Martínez-Alier, J., y J. Roca Jusmet (2002), *Economía ecológica y política ambiental*, Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica.
- Melosi, M. V. (2004), *Garbage in the cities. Refuse, reform, and the environment*, Pittsburgh, University of Pittsburgh.
- Montgomery, M. C. y J. Chakraborty (2013), "Social vulnerability to coastal and inland flood hazards: A comparison of GIS-based spatial interpolation methods", *International Journal Applied Geospatial Research*, 4(03).
- (2015), "Assessing the environmental justice consequences of flood risk: A case study in Miami, Florida", *Environmental. Research Letters*, 10(09).

- Ocelli, F., R. Bavdek, A. Deram, A. P. Hellequin, M. A. Cuny, I. Zwarterook y D. Cuny (2016), *Using lichen biomonitoring to assess environmental justice at a neighbourhood level in an industrial area of Northern France*. *Ecological Indicators*, 60, pp. 781-788.
- Pacheco-Vega, R. (2015), "Agua embotellada en México: de la privatización del suministro a la mercantilización de los recursos hídricos", *Espiral*, 22(63), pp.221-263.
- Ramírez Guevara, Sonia J.; María G. Galindo Mendoza y Carlos Contreras Servín (2015), "Justicia ambiental: entre la utopía y la realidad social", *Culturales*, 3(1), pp. 225-250.
- Salazar, A. y C. Bretón Mora (2011), "Acciones colectivas en materia de medio ambiente: una lectura jurídica". Recuperado el 22 de abril de 2016, de *Revista Electrónica de la Facultad de Estudios Internacionales de Políticas Públicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa*: <http://spinalhost.com/agendaglobal/acciones-colectivas-en-materia-de-medio-ambiente-una-lectura-juridica/>
- Sieckmann, J. R. (2012), *The logic of Autonomy*, Oxford, Hart publishing.
- Soja, E. W. (2010), *Seeking spatial justice*, Minneapolis, University of Minnesota Press, p. 26.
- Swyngedouw, E. (2006), *Circulations and Metabolisms: (Hybrid) Natures and (Cyborg) Cities*, *Science as Culture*, 15 (2), pp. 105-121.
- Umprimy Yepes, R. (2008), *Bloque de constitucionalidad, derechos humanos y proceso penal*, Bogotá, Consejo Superior de la Judicatura/ Universidad Nacional de Colombia.
- Vázquez García, A. (2007), *La responsabilidad de daños al ambiente*. Recuperado el 22 de marzo de 2016, de Instituto Nacional De Ecología: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/444/cap5.html>
- Wisner, B. et al. (2004), *At risk. Natural hazards, people's vulnerability and disasters*, Nueva York, Routledge.
- Wolkmer, A. C. (2001), *Pluralismo jurídico. Fundamentos de una nova cultura no Direito*, Sao Pablo, Alfa-Omega.

Ciudades, gobiernos locales y sus redes frente a los retos locales para la sustentabilidad global

Leonardo Díaz Abraham

¿De qué se trata esto? Un breve panorama

Hasta hace unas cuantas décadas, el ejercicio de las relaciones internacionales era una función casi exclusiva de los gobiernos nacionales y de las organizaciones internacionales formadas por ellos mismos. Sin embargo, con el paso del tiempo esta situación ha cambiado mucho: ahora hay una enorme diversidad de actores que toman decisiones y las materializan en temas que van más allá del territorio de un municipio, estado o país. Estos asuntos que podemos pensar como globales son los que finalmente, de una forma u otra, nos afectan a todos los seres vivos del planeta. La biodiversidad, el clima y en general la salud de las tierras y los mares que conforman los distintos continentes donde florece la vida en el planeta, son asuntos que deben ser atendidos con responsabilidad por todos los miembros de la comunidad humana, en especial las instituciones públicas, que son o deberían ser los promotores centrales de la acción colectiva en determinados asuntos, como lograr reducir el impacto de las actividades humanas nocivas sobre nuestro propio entorno.

El crecimiento de la población mundial y la concentración espacial de las mejores oportunidades de salud, trabajo y educación han sido fuerzas entre otras que han empujado cada vez con más determinación hacia la urbanización del territorio desde hace varias décadas. A partir de 2008, más de la mitad de la población mundial vive en las ciudades (Bloom y Khanna, 2007); esto significa que avanzamos con paso firme hacia sociedades eminentemente urbanas, donde las ciudades deberán promover condiciones que se reflejen en el bienestar de las personas con modelos sustentables de desarrollo y urbanismo. Y esta tendencia seguirá en aumento, pues para 2030 el Banco Mundial prevé que 60% de la población mundial vivirá en núcleos urbanos.¹

¹ Recuperado el 26 de mayo de 2016, de <http://www.bancomundial.org/temas/cities/datos.htm>.

Además del desplazamiento constante de población hacia ellas, es en las ciudades de los países en desarrollo donde se dan las tasas de natalidad más altas en relación con su contraparte: el medio rural. Es posible pensar en un futuro nada lejano, que las mega-ciudades, súper-ciudades, grandes ciudades y ciudades medias o pequeñas serán espacios privilegiados para llevar a cabo la transformación profunda que requiere “nuestra civilización” para conducirnos a patrones de desarrollo sustentable y equilibrado con los recursos y las condiciones del entorno natural.

En este texto partimos de la idea de que la sustentabilidad es el camino para construir las condiciones culturales, políticas, económicas, sociales y ecológicas que aseguren la armonía entre la naturaleza y el quehacer humano de cara a las siguientes generaciones. Sin duda las ciudades, es decir los ciudadanos y sus gobiernos, desempeñarán un papel relevante para disminuir el efecto de la actividad humana sobre los distintos seres y sistemas que integran la naturaleza.

Las ciudades y en general los gobiernos locales están llamados a ejercer un papel de mucha importancia en la gestión sobre el territorio, sus recursos, atributos, y en la administración de los bienes comunes.² La correcta operación y distribución social de los distintos servicios, bienes colectivos, y la responsabilidad en determinados asuntos cruciales como agua, manejo de residuos, alumbrado, seguridad, empleo o inversión, ponen a las autoridades gubernamentales de las ciudades en el centro de la toma de decisiones y materialización de las mismas. El espacio local suele ofrecer una mayor proximidad con el ciudadano y sus problemas.

Parte importante de los programas y proyectos que promuevan la sustentabilidad tienen y tendrán como escenario a las ciudades de todos tamaños. En este sentido, el poder público local, democráticamente electo en la mayoría de los países del mundo, se presenta como un actor clave para la transformación cultural de gran calado,³ que implica encaminar el esfuerzo general –de gobiernos, agentes privados, sociales y ciudadanos- hacia patrones de desarrollo sustentables. En esta contribución, profundizaremos en el papel de los gobiernos de las ciudades acerca de la creación de condiciones favorables para el desarrollo humano en el largo plazo, que sean respetuosas y amigables con el entorno.

² Sobre la gestión localizada en el territorio de los bienes comunes, se recomienda: E. Ostrom (2011), *El gobierno de los bienes comunes: la evolución de las instituciones de acción colectiva*, Sección de Obras de Economía Contemporánea, Ciudad de México, FCE/ Instituto de Investigaciones Sociales-UNAM.

³ En este sentido se recomienda la lectura de J. Riechmann (2015), *Autoconstrucción: la transformación cultural que necesitamos*, Madrid, Los Libros de la Catarata.

Las ciudades y el medio internacional (¿global?)

Al término de la llamada Guerra Fría, a finales de los años ochenta, se empezaron a dar varios cambios profundos y notorios en la distribución de competencias al interior de los distintos niveles de gobierno de prácticamente todos los países del mundo. Se dio además un proceso de descentralización de funciones de los gobiernos nacionales hacia las entidades municipales y estatales dentro de la organización territorial del poder político. El caso mexicano no es la excepción en este sentido.

Además de la globalización y la descentralización, también han influido en estas condiciones emergentes la creciente dinámica del comercio mundial, la inversión casi sin fronteras y la movilidad humana. Sin embargo esto no siempre funcionó así; en las últimas décadas se han intensificado las relaciones entre los gobiernos municipales, ciudades y metrópolis de todo el mundo. El caso de América Latina en general y de México en particular llama la atención por la marcha acelerada con que se implantaron los procesos de apertura de fronteras al comercio y la inversión, sobre los que se sustenta gran parte del fenómeno de la globalización.

En este sentido, el caso mexicano es muy representativo, pues pasó de una forma acelerada del modelo paternalista del Estado benefactor, regido por un partido político con más de 70 años, al modelo de libre mercado que replantea en sí mismo nuevas formas de organización y acción internacional de las sociedades y sus gobiernos. En este proceso de transformación mundial, que igualmente afectó a nuestro país, es donde ha florecido la acción en el exterior de los gobiernos locales, principalmente de las ciudades. A partir de los años noventa, algunos gobiernos locales de México y de América Latina en general experimentaron nuevas formas de asociación con gobiernos de otros países.

En México la alternancia de partidos en los distintos niveles de gobierno también contribuyó a que muchas autoridades ciudadanas y metropolitanas dejarán de sentirse identificadas, representadas o simplemente alineadas con la política exterior que era dictada por el Poder Ejecutivo federal, encabezado por el presidente de la república. Hay que recordar que durante la segunda mitad del siglo XX los gobiernos locales –como a partir de ahora llamaré genéricamente a las autoridades electas que gobiernan en otros niveles de gobierno que no son del orden federal- tenían relaciones con otras ciudades sobre la base de hermanamientos que finalmente respondían a los lineamientos o directrices de la política exterior, que en el caso mexicano es por definición nacional, o sea del todo el país.

Sin embargo, actualmente se han dado condiciones de relativa autonomía para los gobiernos subnacionales frente a la federación. En este sentido, una de las ventajas que presenta la acción internacional de los gobiernos locales en comparación con la política exterior es que construyen y materializan alianzas, acuerdos y convenios con una base territorial bien definida; esto, con intereses claros sobre los beneficios y responsabilidades que implica elaborar una estrategia de desarrollo que permita mirar hacia afuera del país para obtener recursos, conocimientos y una plataforma de asociación, en contraste con los criterios abstractos y parciales que por lo regular orientan en la práctica la política exterior.

En un país como México, que es muy variado en sus regiones en cuanto a recursos naturales, grupos sociales, intereses y aspiraciones como colectivo, la política exterior muchas veces es demasiado abstracta como para resolver asuntos cotidianos de la ciudadanía. Esto prácticamente se repite en todos los países.

De esta manera, la presencia internacional de los gobiernos locales es un fenómeno que conjuga procesos mucho más amplios, como son la globalización, la descentralización, el avance científico y tecnológico, la tendencia hacia la urbanización del planeta, la democratización, por citar los más reconocidos. La interacción global de los gobiernos de las ciudades es un fenómeno de naturaleza transversal que está ligado a varias disciplinas relacionadas con la gestión pública, la acción internacional, el derecho, la organización política y social, la economía, el cuidado del medio ambiente, entre otros campos.

En este sentido, podemos definir a la globalización como el proceso amplio de reestructuración económica que actúa a partir de las formas de libre mercado, de la reconfiguración de la división internacional del trabajo, de efervescente movilidad de las ideas, conocimientos, bienes y personas. También el acelerado avance científico-tecnológico y la formación de profusas redes de intercambio (Friedman, 2005) son componentes de la llamada globalización. En la mayoría de casos de los países en desarrollo, la implantación de la globalización ha sido acelerada sin un periodo de ajuste que hubiera permitido graduar los efectos del libre mercado sobre los mercados nacionales, poco competitivos internacionalmente. Sin embargo, esta transformación permitió incluir a agentes no gubernamentales en el ciclo de identificación de problemas, negociación y acuerdo entre actores, para la toma de decisiones, la puesta en marcha y evaluación de las políticas públicas multinivel o intergubernamentales (Aggarwal-Khan, 2011).

Así, las agendas de gobierno de las administraciones locales e intermedias se han internado en campos de la administración pública y de la gestión del

territorio que antes fueron exclusivos del gobierno nacional. En este ambiente han prosperado algunas formas de asociación y canales de acción interinstitucional innovadores, como son las redes de ciudades.

Por otra parte, la autonomía de los gobiernos locales para lograr modelos innovadores de gestión del territorio ha impulsado la vinculación con el exterior como un instrumento para su desarrollo. Su aplicación suele ofrecer evidencia sobre el estado de “salud” de determinadas condiciones políticas y sociales en la demarcación. Éstas tienen que ver con los alcances reales de la democracia, la descentralización, la participación ciudadana, la gobernanza, las relaciones intergubernamentales, los mecanismos económicos formales, el desarrollo urbano, entre muchos otros asuntos de la agenda pública de cada demarcación. Según Castells y Borja (2001) es desde esta lógica que se puede observar a la localidad como la principal gestora de las fuerzas globales en el campo de la competitividad y la productividad, la inclusión sociocultural y socioeconómica en función de la representación política, la participación social y la administración del desarrollo territorial.

Esto es, la acción internacional autónoma de los gobiernos locales o de las ciudades como agentes de desarrollo solamente se hace posible dentro de ambientes políticos democráticos, descentralizados y de economía abierta. A esto hay que agregar que los alcaldes o presidentes municipales son autoridades electas de manera directa, y dada la aprobación respaldada por el voto de los ciudadanos, se puede pensar que mantienen un margen de autonomía para la planeación, asignación y ejercicio del presupuesto; esto con el propósito de que el gobierno local cuente con una estrategia propia para la materialización de las políticas públicas locales. Podría decirse que si las políticas públicas tienen impacto en las competencias de distintos niveles de gobierno, pueden ser llamadas políticas públicas multinivel.

Además, hay que considerar que la base del ejercicio democrático en el desarrollo territorial es la participación activa y abierta de los ciudadanos. En términos generales, los gobiernos locales, en comparación con los nacionales, han mostrado mayor capacidad y eficiencia a la hora de resolver la problemática diaria de la población, especialmente en asuntos que afectan el medio ambiente (Zimmermann, 2014).

Desde otro ángulo, hay que tener en cuenta la expansión del concepto “arena internacional”, que antes aludía exclusivamente al escenario donde tenían lugar las relaciones e interacciones entre las naciones y los organismos internacionales. En la actualidad, cuando hablamos del “arena global” nos referimos a una multiplicidad de intereses, actores, recursos y agencias con naturaleza distinta. A la luz de este concepto, las relaciones e

interacciones son entre una gran variedad de agentes que no están relacionados necesariamente con los intereses prioritarios e inmediatos de los gobiernos nacionales.

Un ejemplo de esto es la defensa y protección del medio ambiente desde los gobiernos locales, donde la mitigación de los daños ha sido más ágil y efectiva. Esta tarea se ha centrado en promover estrategias de acción sobre los patrones de desarrollo con bajas emisiones de carbono, con la gestión equitativa y responsable del agua, con la movilidad “verde”, el ahorro de energía y otras medidas de adaptación y resiliencia frente al cambio climático propiciado por la degradación del medio ambiente. Algunas medidas mencionadas pueden ser constatadas en nuestro propio entorno, aunque evidentemente son por mucho insuficientes.

Las redes de ciudades: la sustentabilidad mundial desde espacios locales

Como señalamos especialmente a partir de los años ochenta, se ha experimentado una vertiginosa transformación del medio internacional, sus actores, objetivos y perspectivas; esto es, se han multiplicado los actores que participan de las relaciones internacionales, lo que ha dado lugar a la consecuente fragmentación de intereses y objetivos. Este panorama dinámico de mutación en la naturaleza de las relaciones internacionales lleva como estandarte la globalización y la urbanización, tendencias motoras que han desencadenado un sinfín de transformaciones en el medio internacional (Hambleton y Gross, 2007). En este contexto se inserta la incursión de las ciudades en el establecimiento de la relaciones con agentes e instituciones del extranjero, de una manera autónoma y planificada.

Especialmente en casos como México, que se rige por un sistema federal en la organización territorial del Estado los gobiernos de las ciudades y los estados federados, tienen atribuciones y competencias que les permite y a veces les obliga a entablar relaciones con actores y organizaciones del extranjero. Los motivos que empujan hacia el establecimiento institucionalizado de relaciones con el exterior o con agentes extranjeros radicados en la demarcación son muy variados. El objetivo último es generar condiciones de bienestar para la población, y esto puede lograrse por medios muy diversos que van desde el fomento de condiciones locales para la inversión extranjera hasta la generación de una estrategia de desarrollo que tenga en cuenta la inclusión de actores y organizaciones internacionales entre los instrumentos viables.

Otros ejemplos más concretos son la promoción del sitio como destino turístico, el intercambio de experiencias en la solución de problemáticas específicas, como seguridad pública, manejo de aguas, residuos sólidos, combate a la pobreza, exclusión social, desigualdad, empleo remunerado, entre otros temas que son medulares para la cooperación internacional entre ciudades y gobiernos locales.

Así, las relaciones internacionales de los gobiernos locales requieren para su análisis de la generación de indicadores que aporten elementos más o menos constantes, comparables y que faciliten la elaboración de un telón de fondo para el estudio de un fenómeno tan cambiante y variado. Estos indicadores, que permiten valorar la acción internacional de una ciudad o gobierno local determinado, pueden ser, por ejemplo, la creación de agencias y oficinas de asuntos internacionales en distintos niveles de gobierno, la aprobación de marcos jurídicos para reconocer y normar las nuevas condiciones, la modificación de la cultura política, institucional y de medios en cuanto a percibir la importancia de los asuntos internacionales y su estrecha vinculación con asuntos que antes eran considerados domésticos o internos (empleo, salud, derechos humanos, medio ambiente, entre otros) y ahora son objetivo de políticas públicas locales o multinivel.

Para que la cooperación internacional entre gobiernos locales y demarcaciones subnacionales prospere y se incorpore exitosamente a los planes de desarrollo, estrategias y políticas públicas, debe de ofrecer un valor real añadido, tener perspectiva de impacto, a la vez que ser sostenible y situarse dentro “un marco estratégico previo, circunscrito en la agenda de las políticas públicas territoriales y elaborado a partir de un proceso de reflexión y de organización, centrado tanto en la realidad local como en las posibilidades ofrecidas por el entorno”(Sanz Corella, 2008:32).⁴ Y efectivamente, la edificación de una estrategia para integrar la acción internacional debe impactar en la formulación de las políticas públicas y en su ejercicio.

Dentro de este ambiente de transformación e innovación en la gestión urbana es que las ciudades comenzaron a establecer, a partir de iniciativas locales, los primeros vínculos internacionales propios para impulsar el desarrollo económico y social de sus demarcaciones.

⁴ Cita tomada de Introducción al IV Taller de Aprendizaje del Proyecto AL-LAs por parte de la consultora Beatriz Corella, que se realizó del 4 al 7 de abril de 2014 en Medellín, Colombia, con el título *Internacionalización estratégica y participativa de las ciudades*. Recuperado el 2 de julio de 2014, de: [http:// bit.ly/1fH3pJn](http://bit.ly/1fH3pJn) . Foro de debate especializado AL-LAs sobre redes de cooperación internacional entre ciudades y agencias de Iberoamérica.

En este caso, las fórmulas de asociación entre actores públicos tendieron a ser más extendidas y abiertas. Así, las redes cumplen una función primordial de enlace entre los fenómenos globales (mundialización de las fuerzas económicas, multiplicación de actores internacionales, libre mercado, desarrollo tecnológico acelerado y extendido) y su materialización mediante las políticas públicas locales. De hecho, las redes en general se han constituido como una forma viable y alternativa para la organización de la acción colectiva (Milward y Provan, 2000: 243); esto en el supuesto de que la red esté fincada en una relación de interdependencia, confianza y reciprocidad, con una serie de reglas acordadas por los miembros o participantes (Davies, 2007).

Las redes formadas en torno a las políticas públicas se pueden definir como patrones más o menos estables de relaciones sociales entre actores interdependientes que deciden emprender una acción conjunta en torno a problemas comunes específicos (Klijn, 1998). Estas redes pueden también estar formadas por ciudades, estados y municipios de diferentes países que compartan problemáticas, perspectivas ideológicas o reivindicaciones frente a determinadas condiciones, como es el caso de la defensa del medio ambiente local desde una perspectiva global.

Así se fueron integrando más redes, como parte de los planes y estrategias para la incorporación de los asuntos internacionales, dentro de las agendas de acción pública de los gobiernos locales. En este sentido, las redes representan, a la vez que agentes, medios de vinculación con el exterior y transferencia de experiencias, ideas, modelos de políticas públicas en el ámbito subnacional, nacional e internacional (Stone, 2004). Con ello es posible afirmar que el alcance de lo local sobre el ámbito global, y viceversa, depende en gran medida de las redes que integran el entramado de las relaciones multinivel que se establecen entre actores de los sectores público, privado y social. Con estos razonamientos, se presenta a continuación (cuadro 1) un listado con las características generales y propias de las redes de gobiernos locales que constituyen en conjunto una tipificación simple de sus características esenciales de estructura, organización y operación.

Cuadro 1: Once características básicas de las redes intergubernamentales y de las redes internacionales de los gobiernos subnacionales

1. Las redes generalmente no son formas de organización con jerarquías, más bien son estructuras organizativas sin muchos niveles o estratos, con procesos de toma de decisión horizontales. Con esta idea, los acuerdos, los compromisos y las mismas reglas para todos los miembros sustituyen a las órdenes, instrucciones y distribución desigual de responsabilidades

- en las organizaciones jerarquizadas. Así, las nociones de “arriba” y “abajo” pierden sentido, y esta forma de relación se construye con un par de niveles diferenciados sólo para gestionar los asuntos internos de la red.
2. En parte su estructura no jerarquizada tiene que ver con que los miembros de las redes son actores en condiciones de igualdad (pares) que comparten determinada naturaleza, intereses y problemática. Las redes frecuentemente tienen como punto de partida la integración de una comunidad que contribuye, con cierta homogeneidad en la membresía, con los objetivos y estrategias para lograrlos.
 3. Las redes están compuestas por nodos interconectados que pueden ser personas, grupos, organizaciones o estados (Kahler, 2009: 3), y por supuesto gobiernos de las ciudades, municipios y estados. La interacción entre miembros puede ser fuerte -con repetidos intercambios y flujo constante de comunicación y acción conjunta- o bien débil, con flujo esporádico y un volumen relativamente bajo en el intercambio.
 4. Las redes pueden albergar a ciudades o gobiernos locales de "mayor" o "menor" tamaño, peso, población, alcance financiero o vulnerabilidad, sin que esto limite su participación o membresía en la red (Watts, 1999, 2003).
 5. Así como otras, las redes internacionales de gobiernos subnacionales se basan en un principio de reciprocidad. Gran parte de la base de intercambio suele ser asesoría e información primaria, es decir generada de primera mano y en forma de experiencia en lugar de fondos, bienes o servicios. De tal forma, la valoración de la red por sus propios miembros tiende a centrarse en la calidad de la información y en los intercambios de experiencia.
 6. En general las redes tienden a ser abiertas y accesibles para determinadas comunidades que tienen puntos en común. En el caso de las redes internacionales de gobiernos locales, la experiencia y el conocimiento técnico tienen un valor de cambio muy importante, pues con frecuencia alimentarán el diseño y ejecución de la estrategia de desarrollo territorial y las políticas públicas adecuadas para la identificación y búsqueda de soluciones para cada problemática (Stone, 2004: 560), manteniendo una perspectiva local sobre el territorio a la vez que global en términos de acción conjunta de cara a una problemática planetaria, como es el caso, por ejemplo, del cambio climático.
 7. La participación o membresía voluntaria es una característica general de las redes. Al interior, la figura fija de autoridad se difumina frente a liderazgos permanentes y eventuales. Evidentemente cada ciudad o autoridad subnacional mantiene su terreno con autonomía y sólo actúa por iniciativa propia y en la medida de sus compromisos.
 8. Las normas que rigen en el interior de la red a este tipo de redes son los acuerdos, y en el exterior son los marcos legales, el grado de contacto e interacción y el límite en la autonomía de los representantes o intermediarios de las comunidades en cuestión.

9. La dinámica de las redes suele ser intermitente, pues el estado de flujo e intercambio resulta en formas de expansión o retraimiento de las redes, que muchas veces responden a asuntos coyunturales. No obstante, en la medida que se toma conciencia se suman todo tipo de actores a la protección del medio ambiente. La sustentabilidad y la resiliencia desde una perspectiva local a la vez que global se han convertido en una constante y motivo de formación de infinidad de redes y redes de redes.
10. Un aspecto que es interesante destacar es la potencialidad de las redes de gobiernos locales para vincular necesidades y oportunidades locales con entornos regionales, nacionales, globales, y viceversa. Sin duda son fuentes de información y experiencia con repercusiones en diversas escalas territoriales. Así, el análisis de redes debe considerar esta característica estructural de vasos comunicantes o puentes (Granovetter, 1983: 220-228) como necesaria para la comprensión y valoración del impacto de una red más allá de su entorno local.

Elaboración propia.

En el mundo hay alrededor de un millón de gobiernos locales, de los cuales la mayoría son gobernados por funcionarios electos de forma democrática por los ciudadanos. Sin embargo, sólo unos cuantos miles de ellos mantienen vínculos activos y constantes con el exterior. En temas de sustentabilidad las acciones de las ciudades y gobiernos locales más notables se han dado en torno al ahorro energético y uso de energías renovables, la adaptación y resiliencia frente al cambio climático, la reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la gestión del agua, el manejo de residuos, el transporte limpio y la creación de modelos de desarrollo sustentable.

Los gobiernos de las ciudades activas internacionalmente suelen tomar con frecuencia los ejemplos de buenas prácticas llevadas a cabo en otros países o continentes, y aunque los entornos sociales y naturales son muy diversos en el planeta, al considerar una buena práctica externa como ejemplo se induce un proceso de innovación que permite la adaptación a las nuevas condiciones y requerimientos.

Las redes contribuyen grandemente a la toma de conocimiento y experiencia de problemas y soluciones que han enfrentado gobiernos y sociedades de otros lugares en el planeta, y especialmente en temas globales, como es el caso de la generación de modelos de desarrollo sustentable que ponga en el centro la defensa, conservación y dignificación del medio ambiente. Para ello se requiere la formación de muchos frentes amplios con actores activos y capaces de reaccionar con rapidez y eficacia ante los efectos de la degradación de nuestro entorno natural.



Un ejemplo de esto es la adopción, en 1992, de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) por parte de líderes de gobiernos nacionales y locales. En menos de un año se celebró la Cumbre de Dirigentes Municipales sobre Cambio Climático, donde se establecieron compromisos acerca del tema y se dio forma a la campaña mundial Ciudades por la Protección del Clima en el seno de la red ICLEI de Gobiernos Locales por la Sustentabilidad. Los gobiernos nacionales emplearon casi 13 años acordando los fundamentos del Protocolo de Kioto.⁵

Este protocolo es considerado como el mecanismo fundamental para materializar, en el terreno de los acuerdos, los compromisos emanados de la convención. De hecho, el primer emisor de Bióxido de Carbono (CO₂), Estados Unidos, ni siquiera lo ha ratificado hasta la fecha (Sonntag-O'Brien, 1997: 86). Cabe mencionar que algunas ciudades de este país han tomado como referencia los acuerdos de dicho protocolo para orientar su estrategia hacia patrones de desarrollo bajos en carbono. Como parte de esta estrategia global, que tiene como escenario principal a las ciudades, se puso en marcha el Registro Climático de las Ciudades *Carbonn* (cCR, por sus siglas en inglés).⁶

Este programa de acción global desde las ciudades fue dado a conocer durante la Cumbre Climática Mundial de Alcaldes que se celebró en la Ciudad de México a finales de 2010. Como resultado de los acuerdos y compromisos contraídos, las autoridades locales participantes decidieron, en su totalidad, adherirse al Pacto Climático Global de Ciudades, ahora más conocido como Pacto de la Ciudad de México. Para dar seguimiento transparente y abierto a los retos y logros de cada una de las ciudades signatarias, se optó por la creación

5. El texto completo del Protocolo de Kioto de puede consultar en <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpsan.pdf> . Recuperado el 14 de junio de 2016.

6. Disponible en <http://carbonn.org/climateregistry/> . Recuperado el 14 de junio de 2016.

del cCR. Este indicador operado en la ciudad alemana de Bonn (de ahí el apelativo *Car-Bonn*), monitorea de manera continua los índices de emisión de carbono en cada una de las ciudades o demarcaciones territoriales, para integrar el reporte de Acciones Climáticas Locales.

El Registro Climático de las Ciudades *Carbonn* es una iniciativa de los gobiernos locales integrados a las redes de ICLEI y Ciudades y Gobiernos Locales Unidos, que propulsaron su creación y funcionamiento. El cCR fue pensado como una respuesta global a la generación de gases de efecto invernadero desde las ciudades y los gobiernos locales. El reporte de *Carbonn* permite medir y verificar las acciones climáticas emprendidas por las más de 600 ciudades y municipios que participan del programa de monitoreo.⁷

Este instrumento es muy valioso, pues además de ofrecer un panorama global sobre este problema, también permite a las autoridades locales valorar el impacto de las políticas públicas emprendidas. *Carbonn* concentra los datos que permanecen confidenciales hasta la publicación del reporte global que se publicó el año pasado.⁸ Por ejemplo, 33 entidades territoriales de México reportaron a *Carbonn* de 2010 a 2015. Estas demarcaciones son ciudades, municipios conurbados, la propia capital del país, y algunos otros municipios de menor superficie o población pero que están comprometidos con la acción contra el cambio climático y la sustentabilidad. La adaptación y mitigación ante el cambio climático y la protección de la biodiversidad se presentan como retos que demandan la participación individual, de los gobiernos de los países, de las organizaciones no gubernamentales, fundaciones, empresas, organizaciones internacionales y por supuesto, de los gobiernos locales.

Reflexiones finales

Los gobiernos de las ciudades y demás entidades territoriales comparten la responsabilidad de enfrentar retos y obstáculos hacia la sustentabilidad global, aunque es claro que para materializar una tarea de esta dimensión se requiere de la suma de voluntades y esfuerzos de todos hacia una transformación de los patrones de movilidad, consumo, empleo, vivienda y alimentación. La implicación de las autoridades locales es imprescindible para lograr impactos reales en tiempos relativamente breves sobre el deterioro medioambiental que sufre nuestro planeta.

⁷ Se calcula que las 600 entidades territoriales que reportan a *Carbonn* representan a 8% de la población mundial a escala local.

⁸ Disponible en: http://e-lib.iclei.org/wp-content/uploads/2015/12/cCR2015_5Year_Report.pdf. Recuperado el 15 de junio de 2016.

La preparación de inventarios de emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero (GEI), el diseño y puesta en marcha de planes de acción ante el cambio climático, además de la actualización de los marcos legislativos locales, son tareas que ya emprendieron los 33 gobiernos locales de México que rinden cuentas de sus acciones, logros y obstáculos de manera global. Es muy deseable la réplica de estas acciones globales, a la vez que locales, por parte de más entidades territoriales subnacionales de nuestro país y del mundo, no como agentes únicos pero sí como líderes políticos que fueron electos democráticamente y que encabezarán una importante labor que compartiremos cada vez más en los próximos años: encontrar formas de desarrollo con un bajo impacto sobre el medio ambiente.

El impacto de las políticas públicas locales sobre la sustentabilidad es determinante. Además de los aspectos técnicos, será muy importante, como se ha hecho en el caso de Caronn, invitar mediante la transparencia y la rendición de cuentas, a la suma de esfuerzos de las autoridades en general y de los actores no gubernamentales. En esto, las organizaciones no gubernamentales y los gobiernos locales son por ahora los buques insignia de esta nueva forma de interacción entre las autoridades locales y las sociedades de distintos países.

De cara a los próximos años, serán muy importantes los acuerdos, compromisos y mecanismos de seguimiento que se den en 2016 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III), en Quito, Ecuador. Existe la expectativa que en este foro las ciudades y gobiernos locales tendrán un papel protagónico para identificar y enfrentar los retos para alcanzar el desarrollo sustentable dentro de la gran diversidad de comunidades que habitan el planeta. A diferencia de las otras ediciones de Hábitat, en la que se celebrará este año la participación será abierta y reunirá a organizaciones internacionales, gobiernos nacionales, empresas, organizaciones no gubernamentales y otros actores. Esta plataforma de debate definirá los lineamientos y mecanismos para dar forma a la llamada "Nueva Agenda Urbana", que tratará de orientar en los próximos años las acciones hacia modelos de desarrollo sustentable y equitativo desde las perspectivas tanto global como local. Igualmente, se promoverá la instrumentación de políticas públicas que permitan armonizar las relaciones de complementariedad que existen entre el campo y la ciudad. Es posible que una visión integral permita a la Nueva Agenda Urbana avanzar de manera más consistente en asuntos relacionados con el desarrollo humano sustentable.

Bibliografía

- Aggarwal-Khan, S. (2011), *The policy process in International Environmental Governance*, Houndmills, Basingstoke, Hampshire G.B., Palgrave Macmillan.
- Bloom, D. E. y T. Khanna (2007), *The urban revolution, Finance & Development*, 44(3), pp. 8-14.
- Borja, J. y M. Castells (2001), *Local y global: la gestión de las ciudades en la era de la información*, Madrid, Taurus/ UNCHS (Hábitat).
- Davies, J. S. (2007), "Against 'Partnership': Toward a Local Challenge to Global Neoliberalism", en R. Hambleton y J. S. Gross (eds.), *Governing cities in a global era urban innovation, competition, and democratic reform*, Nueva York, Palgrave Macmillan, pp. 199-210.
- Friedman, T. L. (2005), *The world is flat. A brief history of the twenty-first century*, Nueva York, Farrar, Straus & Giroux.
- Granovetter, M. (1983), "The strength of weak ties: A network theory revisited", *Sociological theory*, 1, pp. 201-233.
- Hambleton, R. y J. S. Gross (2007), "Global Trends, Diversity, and Local Democracy", en R. Hambleton y J.S. Gross (eds.), *Governing cities in a global era urban innovation, competition, and democratic reform*, Nueva York, Palgrave Macmillan, pp. 1-12.
- Kahler, M. (2009), *Networked politics: Agency, power, and governance*, en M. Kahler (ed.), *Networked politics: Agency, power, and governance*, Nueva York, Cornell University Press/ Ithaca, pp. 1-20.
- Klijin, E.-H. (1998), "Policy networks: An overview", en W. J. M. Kickert, J. F. Koppenjan y E.-H. Klijin (eds.), *Managing complex networks*, Londres, Sage, pp. 5-45.
- Milward, H. B. y K. G. Provan (2000), "How networks are", en C. J. Heinrich y L. E. Lynn (eds.), *Governance and performance: Models, methods and results*, Washington DC, Georgetown University Press, pp. 3-26.
- Sanz Corella, B. (2008), *Guía para la acción exterior de los gobiernos locales y la cooperación descentralizada Unión Europea-América*

Latina: Elementos para la construcción de una política pública local de cooperación descentralizada. Barcelona, Diputación de Barcelona.

Sonntag-O'Brien, V. (1997), "Local governments lead the way in combating local climate change", en J. C. Morlot (ed.), *Climate change: mobilising global effort*, París, OCDE.

Stone, D. (2004), "Transfer agents and global networks in the 'transnationalization' of policy, *Journal of European Public Policy*, 11(3), pp. 545-566.

Watts, D. J. (1999), *Small worlds: The dynamics of networks between order and randomness*, Princeton, Princeton University Press.

Watts, D. J. (2003), *Six Degrees: The science of a new age*, Nueva York, W. W. Norton.

Zimmermann, M. (2014), "Sobre cómo los gobiernos locales se han convertido en un factor de sostenibilidad global", en T. Prugh, M. Renner y G. Alperovitz (eds.), *Gobernar para la sostenibilidad: la situación del mundo*, Barcelona, Icaria/ The Worldwatch Institute, pp. 231-244.

Biodiversidad, conocimiento y diversidad cultural

Élodie Ségal

Introducción: conocimiento en sí y conocimiento para sí¹

Los problemas medioambientales y económicos en sus numerosas declinaciones son los grandes males a los que se enfrentan hoy en día las sociedades tecnológicamente más avanzadas. Las denominadas comúnmente crisis ambientales y crisis económicas interactúan a la vez en relaciones causales e independientes una de la otra (Bolin, 2003). Por su parte, la antropología de la naturaleza y la ecología política debaten la importancia de formular un análisis en términos “antropocenos”, es decir, estableciendo como base la transformación acumulativa y acelerada propiciada por el hombre sobre la naturaleza. La historia humana de la naturaleza, según el término de Philippe Descola,² nos propone identificar la formación de una nueva edad sobre la Tierra, cuando el hombre empezó a concebir su diferencia con la naturaleza, no de grado sino de esencia (Descola, 2005, 2010). Tanto científicos como activistas están luchando para que se reconozca la desastrosa influencia del hombre sobre nuestro planeta. Una de las vías planteadas en el debate público, en la escena internacional y en el ámbito científico, es un desarrollo y una gestión sustentables de los recursos

- ¹ El presente trabajo le debe mucho a los intercambios con los miembros del seminario “crisis ambientales y ecología política” de la UAM Cuajimalpa. Agradezco a Neus Ortega Molinos por sus comentarios oportunos y su sensibilidad hacia mis propuestas. Le debo también a Alejandro Vázquez a quien agradezco haya compartido conmigo su conocimiento como antropólogo Mexicano y su experiencia del sofisticado trabajo de Arturo Escobar. La investigación colectiva a la cual Alejandro Vázquez contribuye a consolidar desde la Universidad de Querétaro me pareció una puerta abierta para pensar y re-pensar las problemáticas contemporáneas sobre la naturaleza de hoy y del mañana.
- ² Nos recuerda la urgencia de identificar responsables e iniciar procesos de cambio. En ese sentido Philippe Descola cambiará el nombre de la cátedra de Antropología (que impartía Claude Lévi Strauss, quien fue sustituido por Françoise Héritier), en el Colegio de Francia, de Estudios comparados de las sociedades africanas, al actual Antropología de la naturaleza, en la década de 2000.

naturales. A continuación, nace una preocupación para la conservación, la preservación y el respeto de todas las especies. En particular, la cuestión de la protección de la biodiversidad será una promesa para las futuras generaciones (Takacs 1996). Se pretende construir una ecología que concilie desarrollo y conservación de la naturaleza, elaborando socio-ecosistemas complejos que integren las culturas y las sociedades (Fleury, Prévot-Julliard 2012; Couvert, Teysseire, 2010).

La biodiversidad está considerada un poder porque ofrece la posibilidad de consolidar alternativas al capitalismo financiero y sus excesos, y plantea la posibilidad de una movilización colectiva, en particular por lo que respecta a los movimientos indígenas. Algunas investigaciones tratan del poder de la biodiversidad en el sentido de una revalorización de los conocimientos tradicionales, de los derechos a la Tierra, de la valorización de las culturas tomadas en sus diferencias. Otras investigaciones se muestran escépticas y argumentan que el poder de la biodiversidad es el poder de controlar el acceso a los recursos naturales, de instrumentar la diversidad cultural y de mercantilizar los conocimientos y saberes.

Dicho de otra manera: ¿el poder de la biodiversidad consiste en controlar, contener los conflictos, rearticular y reajustar el capitalismo y sus intereses sobre los recursos, o representa un poder de movilización colectiva, de reconocimiento, de transformación y de equilibrio para el futuro?

La crisis como diagnóstico, la biodiversidad como poder

En sentido metafórico, podría decirse que estamos frente a la caja de Pandora. La caja contenía todos los males de la humanidad: las enfermedades, las preocupaciones, la vejez, la muerte, los días, las noches, y todos los males fueron soltados sobre la Tierra —sólo la esperanza fue encerrada por orden de Júpiter—. ³ Así que todos los males han sido soltados sobre la Tierra: crisis económica (decrecimiento, desempleo, deuda); crisis ambiental (deforestación, salinización, escasez de fuentes de energía y de alimentos,

³ En la mitología del poeta Hesíodo Júpiter, dios de todos los dioses, hijo de Saturno, instauró una edad de oro en la cual los hombres y los dioses convivían en armonía. Compartían sus riquezas y sus sabidurías. Los primeros hombres llamados también los genios terrestres protegieron, durante mucho tiempo, a las futuras generaciones de hombres. La tierra era libre de rivalidades, pero el trabajo y la guerra eran impuestos por Júpiter para proteger a los hombres de la ociosidad. Prometeo, considerado el más inteligente de los hombres, se dio cuenta de que el fuego, que estaba en posesión de Júpiter y escondido de los hombres, permitiría a la humanidad aliviar sus labores, así que se lo robó. Júpiter gritó venganza, y cuando los hombres se burlaron de su sabiduría él deseó verlos venerar a sus

desaparición de especies, calentamiento global), crisis de las instituciones (de la familia, de protección social, etc.). La crisis nos habita y la habitamos, en la sociedad, los derechos, la naturaleza, la cultura y la civilización. Podría seguir enumerándolas, describir sus efectos, sus consecuencias, sus correlaciones, pero eso no implicaría darles un contorno o un análisis.

Por lo tanto, en los años sesenta surgió un contexto favorable para el desarrollo de las teorías de las crisis y las alternativas al capitalismo alrededor de las teorías marxistas y freudianas. Cabe destacar que cuando hablo de contexto no hablo de un contexto específicamente europeo, sino de un campo de fuerza histórico-mundial en el cual, entre otros ejemplos, el estructuralismo y el postestructuralismo con su heterogeneidad de disciplinas y métodos o la emergencia y consolidación de paradigmas de investigación como la economía heterodoxa se fortalecieron y nos ofrecieron métodos de análisis y propuestas alternativas (Barthes, 1966; Lacan, 1966; Foucault, 1966; Althusser, 1965; Aglietta, 1976). Por supuesto, como bien lo sabemos, hubo plétora de aplicación vulgar de estos autores en la teoría crítica y en la política, más en el caso de Marx que en el de Freud por sus intereses políticos. Igualmente ha sido también su caballo de batalla y una utopía colectivamente compartida, un socialismo en respuesta a la barbarie. En todo caso, las vulgarizaciones y fallas conceptuales de estas dos perspectivas no cambian la sutileza y la coherencia de sus enfoques; la crisis como principio conflictual, catalizador tanto de dominación como de emancipación, una estructura dialéctica o un regreso de lo negado, de lo oprimido. Estas hipótesis de base son directamente articuladas a un postulado científico transversal que conecta con la parte sumergida del iceberg, con lo latente, lo inconsciente, lo infraestructural, lo complejo y ambivalente en el ser humano y en la vida social (Freud, 1981, 2010; Marx, 1989).

En ese sentido, buscar lo alterno en aquello concebido como eterno, la estructura del capital, es un reto fuerte para las ciencias sociales. Es una perspectiva que tiene sus límites (Gómez 2015). Por lo tanto, en esta búsqueda no faltan los encuentros con expertos, hombres y mujeres, y las acciones sólidas y durables para construir una sociedad más equilibrada y amenazada por numerosos

propios males. Con el fin de que atesoraran sus propios sufrimientos, convocó a los dioses y diosas y juntos criaron a Pandora. Era una mujer hermosa, con ojos abrumadores. Sabía coser, hablar, mentir. Pérfida, voluptuosa, dulce y dotada. Ella fue obsequiada al hermano de Prometeo, Epimeteo, quien había olvidado la promesa hecha a su hermano de nunca aceptar un regalo de los dioses. Una vez casados, Pandora abrió una jarra que le había sido confiada por su padre Júpiter con la promesa de dejarla, por siempre, cerrada. ¡Tantas promesas rotas! La caja contenía todos los males de la humanidad. La enfermedad, las preocupaciones, la vejez, la muerte, los días, las noches y todos los males fueron soltados sobre la Tierra. Sólo la esperanza fue encerrada en la jarra bajo la orden de Júpiter.

conflictos internacionales, guerras y cambios socioespaciales difíciles de regular y predecibles en un ámbito global, aunque no localmente.

El concepto de biodiversidad y su poder es un desafío para América Latina, un reto para la consolidación de los equilibrios de los países que componen el continente. América Latina, el “continente de todas las revoluciones”, para retomar la terminología de Olivier Dabène, politólogo en el Sciences-Po París, está resguardada por la riqueza de sus ecosistemas, considerados excepcionales por su biodiversidad y por sus recursos naturales (petróleo, gas natural, minerales). Como sabemos, este continente ha sido el centro de los intereses de la colonización, la cual dejó heredada la espinosa cuestión de la propiedad de la tierra (Dabène, 2008, 2009, 2011). Todavía vive presiones, movimientos sociales y reformas que hacen peculiar y típica la respuesta que puede llevar o no el concepto de biodiversidad como un posible y sutil equilibrio para el futuro.

Crisis de objetivación del concepto de biodiversidad. Un debate en claroscuro

El concepto de biodiversidad sufre una crisis de objetivación tal como la ha definido Bruno Latour (Latour, 1995, 1996, 2004). Dicho concepto nace en los años ochenta en el ámbito de la biología de la conservación, con la idea de llegar a una coevolución (o relación) entre hombre y naturaleza más armónica y reconciliada, y por consecuencia durable. En el enfoque de la sustentabilidad este concepto tomó un lugar privilegiado y englobante; enmarca a los humanos, no-humanos, a las sociedades, a las culturas y a los saberes. En el ámbito institucional, la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB) de 1992 y el protocolo de Nagoya que ratifica en 2010 la repartición de los beneficios consagrados con las poblaciones locales, reconocen y fortalecen también la articulación entre conservación de la diversidad biológica y saberes tradicionales. Es justamente en esa articulación que podemos decir que estamos frente a un objeto de estudio definido por Bruno Latour en *Politiques de la nature* (2004), como los “objetos peludos” de la ciencia. La biodiversidad no entra en la categoría “moderna” de la ciencia, los “objetos caldos” en donde la frontera entre sociedad y naturaleza está claramente definida.

La biodiversidad está caracterizada por un colectivo complejo. Las fronteras entre lo que corresponde a la naturaleza y lo que corresponde a la cultura, a la sociedad, se vuelven difusas; es lo que lleva a Bruno Latour a hablar de “crisis de objetividad”. Esa complejidad es lo que pone la biodiversidad analizada a partir del enfoque de la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB), del lado de una teoría postmoderna del conocimiento (Thomas y Boisvert, 2015).

CUADRO 1. LA BIODIVERSIDAD: “UN OBJETO PELUDO”
(LECTURA LATOURIANA DEL CAMPO DE APLICACIÓN DE LA CONVENCION SOBRE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA, CDB).

	UPOV 1961	TIRPAA 2001	ADPIC (patente)		CDB 1992
"Objetos caldos" de las ciencias modernas					
Campo de aplicación	Las variedades DHS (variedad distinta homogénea y estable representando una combinación particular de alelo.	Las RPGAA (recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación)	Materiales que contiene una información hereditaria (secuencia ADN, marcadores moleculares, ARN mensajero, bacterias o virus vectores	"Objetos peludos" del colectivo	Ecosistemas ("naturales" y antrópicos) Bosques Zonas húmedas Especies Unidades funcionales heredades +moléculas +substancias +materiales +informaciones +saberes tradicionales
Ciencias y usos	Genética y mejoramiento de las plantas.	Conservación de los recursos genéticos agrícolas.	Biología molecular, biotecnologías, genómica.		Conservación de la biodiversidad en sociedad

UPOV: Unión para la protección de las obtenciones vegetales.

TIRPAA: Tratado internacional de la FAO sobre los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación.

ADPIC: Aspecto de los derechos de propiedad intelectual relativo al comercio.

De esta forma se va a configurar un debate en claroscuro alrededor del poder de la biodiversidad.

En particular, dos perspectivas que se publicaron en 2014 y en 2015 nos permiten sintetizar este debate: la primera, el análisis crítico que entiende el concepto de biodiversidad estrechamente ligado al campo naturaleza/cultura, visto como altamente transnacionalizado y neoliberalizado; en particular, la investigación intitulada *Le pouvoir de la biodiversité. Néolibéralisation de la nature dans les pays émergents* [El poder de la biodiversidad. Neoliberalización de la naturaleza en los países emergentes] (2015), que nos viene del Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD), coordinado por Frédéric Thomas y Valérie Boisert. Financiada por un gran instituto de investigación francés, el ANR; el proyecto se llama "Biotek-Nuevas formas de socialización de lo vivo al sur. Biotecnología y gestión participativa de la biodiversidad". Tiene la ventaja de comparar estudios de casos en México, Brasil y Vietnam. El grupo de investigación es pluridisciplinario está formado

por un historiador de la ciencia, un agroeconomista, un geógrafo, sociólogos rurales, economistas y sociólogos de la innovación. Además, es plurinacional –los especialistas se reparten en centros de investigación franceses, estadounidenses y asiáticos. La segunda perspectiva se esfuerza en proponer una ontología política del concepto de biodiversidad. En particular el trabajo de Arturo Escobar, un americanista colombiano que desarrolla gran parte de su vida académica en Estados Unidos; en su libro *Sentipensar con la tierra. Nuevas lecturas sobre el desarrollo, territorio y diferencia*, publicado en 2014, A. Escobar lleva a cabo una crítica de la crítica, pasando por la formulación de una ontología política que lo lleva al concepto de *pluriverso*. Como observaremos, es un debate en claroscuro: cuando ponemos la luz sobre la crítica apagamos la ontología, y viceversa.

La ontología relacional de Arturo Escobar, un pluriverso

El libro de Arturo Escobar es una recapitulación de dos ensayos escritos entre 2011 y 2013 y engloba una breve investigación que plantea una metodología a futuro, que él llama *pluriverso*. Antropólogo del desarrollo, analiza las reivindicaciones de la población afrodescendiente en el Pacífico colombiano. En su ontología política tiene la voluntad de integrar una ruptura epistemológica con el concepto de biodiversidad, transversal a su producción académica: la posibilidad de construir formas de desarrollo para contrarrestar el etnocentrismo basado en un proyecto de vida y no solamente en la cuestión de los recursos. Es lo que Escobar llama pluriverso.

En el texto de referencia de 1998, "*Cual conocimiento, cual naturaleza*" define la biodiversidad en términos heredados de la tradición de Bruno Latour, pero también de Foucault y de Bourdieu. Recordamos tres postulados:

1. El "global centrismo", que está producido por varias instituciones dominantes (ONU, BM, ONG del Norte: WWF, UICN, WRI). La biodiversidad en este sentido corresponde a una lógica de bien y de servicio.
2. El de los gobiernos de los países del Sur, que reproduce a grandes rasgos la visión mercantil de "global centrismo" pero con una lógica local más fuerte que reivindica la justicia social y los mecanismos de participación de los beneficios.
3. El de los movimientos indígenas que defienden la idea de conservación y de diversidad biológica.

Arturo Escobar va a permitir entender, apoyándose en parte en Bruno Latour, la fluidez de los actores de una postura a otra, con sus juegos y estrategias (Escobar, 1996, 1997, 2012). Su visión sobre los conocimientos, su

producción y su valoración constituyen también un aporte considerable. El conocimiento tradicional resulta un poder de reivindicación y de movilización en una lógica de control. El objetivo es trabajar más sobre un conjunto de prácticas que sobre un conocimiento sin contexto. Por lo tanto, Escobar habla de saberes locales, de ejecución de tareas en un contexto social particular orientado por lógicas culturales en el sentido de Bourdieu (Bourdieu, 1980). Claramente en esta lógica se trata de un orden cultural dominante/dominado que va a orientar, definir y construir las prácticas culturales. El poder social así definido busca sacralizar un poder que va a invisibilizar por lo mismo las concepciones alternas en general y en particular las de la naturaleza, del desarrollo, de la democracia, de las comunidades, de las mujeres, etc. Para Escobar la región y el territorio pueden encarnarse en una reivindicación identitaria, un proyecto político. En este sentido, la biodiversidad reactiva estrategias alternas, la capacidad de imaginar y obrar para la paz y el equilibrio (Vásquez 2015). Más allá del “bioimperialismo”, el concepto de biodiversidad puede ser, para Arturo Escobar, el objeto de reivindicación social, identitaria y territorial que lo llevó en 2014 a consolidar un concepto más preciso: el concepto de pluriverso.

En *Sentipensar con la tierra. Nuevas lecturas sobre el desarrollo, territorio y diferencia* (2014), Escobar integra una ruptura teórica que se perfila a lo largo de su producción académica. Se distancia de una definición de cultura simbólica elaborada por las ciencias modernas, que él denomina dualistas. En particular su crítica de la ontología dualista de la modernidad se basa en Tim Ingold, un antropólogo anglosajón, y en la perspectiva fenomenológica que nos viene de Chile (Ingold, 2010; Maturana y Valera, 2003). “Lo más interesante de Ingold –que escapa a la mayoría de los autores cuyo análisis de la modernidad continúa ubicándose dentro de un discurso crítico pero intramoderno (ej.: Latour, Habermas, Agamben, Negri, etc.)– es que sitúa cierta forma de racionalidad –la razón abstracta o el logocentrismo (que, agreguemos, es falogocentrismo pues también contribuye a la dominación de la mujer, como enfatizan las pensadoras feministas)– en el fundamento mismo de la operación moderna dualista que descalifica otros mundos. La perspectiva fenomenológica desarrollada por los chilenos Maturana, Varela, Flores y colaboradores (Maturana y Valera, 2003) [1984]; Valera, Thompson y Rosch, 1991; Valera, 1999; Winograd y Flores, 1986) caracteriza la ontología moderna en relación con la tradición racionalista que se origina con Descartes, a la cual se refieren como “abstracta” u “objetivizante”. Para Varela, el término que mejor describe esta tradición es “abstracta”, es decir, “la tendencia a orientarnos hacia la atmósfera rarificada de lo general y lo formal, lo lógico y lo bien definido, lo que se puede representar y anticipar, que caracteriza nuestro mundo occidental” (1999, p. 6). Esta es una definición de “logocentrismo”, o sea (los conectores que sirven para aclarar o

explicar van entre dos puntos) la creencia en que la verdad lógica es el único fundamento posible del conocimiento sobre un mundo objetivo constituido por entidades que pueden ser conocidas y, por tanto, manipuladas y ordenadas” (2014, p. 11-112).

Según Escobar la ontología dualista que ve reflejada en la casi totalidad de la producción científica heredada de occidente no permitió elaborar una teoría compleja que posibilitara la integración, la diferencia y la transformación. De su primera postura, en la cual la relación con la naturaleza estaba organizada en relación con un orden simbólico, socialmente construido en un campo de fuerza o en una red interorganizada, desarrolla otra visión, hace una crítica de la crítica y propone el término de “cultura radical”, así como la construcción de una ontología política en contra de la ontología dualista. Se apoya en muy poca descripción cualitativa; en el cuadro 2 cito el único elemento que hace referencia a una observación del autor.

Cuadro 2. En *Sentipensar con la tierra. Nuevas lecturas sobre el desarrollo, territorio y diferencia* (Escobar, 2014: 100)

Es a toda esta densa red de interrelaciones y materialidad a la que llamamos “relacionalidad” u “ontología relacional”. Vista de esta manera, no hay “padre”, ni “hija”, ni “potrillo”, ni “manglar” como seres discretos auto contenidos, que existen en sí mismos por su propia voluntad; sino un mundo entero que se enactúa minuto a minuto, día a día, a través de una infinidad de prácticas que vinculan una multiplicidad de humanos y no-humanos. Si algo le está enseñando el “padre” a su “hija”, de esta manera, es a ser *una practicante habilidosa* de estos saberes en dicho mundo, a continuar enactuando el entramado de relaciones entre humanos y no humanos, incluyendo seres “sobrenaturales” que constituyen ese mundo que llamamos “los ríos del Pacífico” y que antropólogos/as y geógrafos/as han descrito, elocuentemente, en términos de una “gramática del entorno” (restrepo, 1996), un “espacio acuático” con propia espacialidad y temporalidad (Osender, 2008), o un “modelo local de naturaleza” (Ver Escobar, 2010, pp. 133-141, para una presentación de estos modelos) (p.100).

En la época contemporánea fue el movimiento zapatista el que nos hizo conscientes de la importancia política de estos mundos. Cuando el primero de enero de 1994 se levantaron en la selva Lacandona de Chiapas y gritaron: ¡Ya Basta!, su mensaje llegaba desde la perspectiva de los mundos relacionales de los mayas. ¡Ya Basta! quería decir que a pesar de más de quinientos años de represión, explotación, marginamiento y genocidio, aún siguen allí estos pueblos, afianzados en su diferencia. ¡Ya Basta! Quiso decir: no queremos inclusión

en Su Mundo, sino coexistir desde nuestra autonomía —en resumidas cuentas, luchamos por un mundo donde quepan muchos mundos—. Esta noción zapatista no es fácil de entender y puede ser relacionada con los conceptos más actuales de teoría crítica social, tales como los de “multiplicidad” (Deleuze y Guattari 1984, los maestros del pensamiento de la multiplicidad y la diferencia), pluriverso e interculturalidad.

A partir de la ruptura que establece Escobar se forma un debate en claroscuro entre el análisis crítico del concepto de biodiversidad (que entiende la economía heterodoxa, los análisis de Foucault, de Bourdieu, de Latour, entre otras) y la construcción de una ontológica política según los términos descritos por Escobar. Cada realidad descrita por un campo será susceptible de apagar la luz de la otra. Escobar, después de haber hecho su juicio a la ontología moderna, se declara apto para seguir discutiendo con tensiones y posibles construcciones y transformaciones con el análisis heterodoxo y con los críticos del capital y de la modernidad, sobre todo si se posicionan en contra de las teorías del desarrollo, de la globalización de mercado y de sus “progresos”. Como lo he subrayado, él destaca en particular la teoría de la diferencia y de la complejidad propuesta por Deleuze y Guattari (1984).

El análisis marxista del biocapital, el enfoque de la financiarización de la naturaleza y las lecturas foucaultianas de la gobernabilidad neoliberal de la naturaleza

Frédéric Thomas y Valérie Boisert, en *Le pouvoir de la biodiversité. Néolibéralisation de la nature dans les pays émergent* (2015) [El poder de la biodiversidad. Neoliberalización de la naturaleza en los países emergentes], propone una síntesis de las posturas críticas sobre biodiversidad y un estudio de casos en México, Brasil y Vietnam. El análisis crítico de la biodiversidad reagrupa tres paradigmas: el análisis marxista del biocapital, el enfoque de la financiarización de la naturaleza y las lecturas foucaultianas de la gobernabilidad neoliberal de la naturaleza. Cabe aclarar que integran la primera lectura de Escobar sobre la biodiversidad. A continuación presento un breve resumen de cada postura antes de explicar tres estudios de casos, México, Brasil y Vietnam.

El primer eje de la crítica es el aporte de Foucault. Su trabajo consiste en articular la libertad individual y el control del Estado. Foucault propone una interpretación nueva de la economía política entendida como un arte de gobernar, en el cual el poder está en el centro, en la democracia liberal.

Pasamos, según él, de la noción de “sujeto jurídico” a la noción de “sujeto de interés”, que tiene cálculos egoístas y racionales. Bajo este principio observamos mecanismos típicos de repartición y de producción de riquezas. Foucault demuestra que las libertades individuales han sido posibles gracias a la creación de tecnologías de poder, como las ciencias estadísticas, por ejemplo. Lo que llama la gobernabilidad neoliberal consiste en limitar el ejercicio de gobierno ampliando sus acciones en campos no económicos, el medio ambiente, la familia, la educación, la salud, la criminalidad (Foucault, 1966, 2004).

El segundo eje de la crítica al análisis del concepto de biodiversidad está caracterizado, por un lado por el campo de la bioeconomía, y después, por la neoliberalización. Para los teóricos de la bioeconomía estamos ante una nueva forma de capitalismo definido por una nueva relación productiva a los “seres vivos”. En particular, Catherine Waldby retoma la teoría del valor de Marx y le añade la noción de “vitalidad” a la de plusvalía debido al uso de biotecnologías, así que para ella podemos hablar de bioplusvalía (Waldby, 2002). Kaushik Sunder Rajan considera también que las ciencias de la vida renovaron el capitalismo haciendo de lo vivo un “biocapital”, visto como una nueva etapa del capitalismo como lo había sido el carbón y el automóvil (Rajan, 2006). Estos trabajos son objeto de crítica, en particular la aproximación y mala interpretación de la teoría del valor en Marx y la yuxtaposición del término “bio” a los conceptos marxistas (Birch, Tyfield 2012). Por otro lado, Katleen McAfee muestra hasta qué punto la biodiversidad está tasada como un valor de intercambio en el paradigma global de la economía. Para concluir, nos enfrentamos a la colonización por el capital que incluye un régimen global de propiedad intelectual y de mercantilización del conocimiento (McAfee, 1999).

Los estudios de casos presentados nos muestran que cada país propuso su propia estrategia. Brasil pretendió limitar la posibilidad de patentar el patrimonio genético de su país y a la vez controlar su acceso. Formó el consejo de gestión del patrimonio genético que lo va a gestionar haciendo pagar su acceso. En cambio México quiso facilitar la investigación nacional y permitió el libre acceso. Vietnam es un caso intermedio, puesto que los permisos de acceso a los recursos naturales son gestionados en el ámbito local, aunque existen también obligaciones de rendición de cuentas y de transparencia que toman la forma de informes sobre investigación, comercialización y desarrollo de los recursos.

En el caso de México, presentado por Frédéric Thomas, se negociaron dos contratos para compartir los beneficios consagrados en 20 años en la industria farmacéutica. El primer caso trata de un grupo estadounidense,

International Cooperative Biodiversity Group (ICBG) enfocado en la prospección para fines farmacéuticos. Este grupo se basa en la bioprospección, y al principio ratificaron las normas sobre el acceso y participación de los beneficios consagrados a las poblaciones locales. Todos los años, desde 1993, el grupo ICBG hace una oferta de fondo llamada ICBG *zona árida*. La idea es recolectar organismos en países que tienen una gran biodiversidad. Estos fondos son de 5 millones de dólares por 5 años. ICBG se enfocó en particular en Argentina, Chile y México en el periodo de 1993 y de 2003. Este programa ha sido muy criticado en el trabajo de tesis doctoral de Cori Hayden, una antropóloga de la Universidad de Beckley que denunció el hecho de que las comunidades locales no han sido asociadas a la negociación sino que los contratos se centraron entre la Universidad de Tucson (Arizona) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) bajo el control del ICBG, y excluyeron la participación de las comunidades (Hayden, 2003). El objetivo era producir farmacéuticos en una lógica de bioprospección. La UNAM se comprometió a entregar compuestos purificados a cambio de un apoyo financiero. Como en el caso de Brasil, el sector de la herboristería mexicana y de los saberes tradicionales heredados del conocimiento indígena representa un verdadero patrimonio nacional. Después de varias polémicas y para evitar críticas, se agregó un anexo al proyecto: “puesta en valor durable de las plantas de la Sierra de Álvarez San Luis Potosí”, apoyado por el fondo mexicano para la conservación de la naturaleza y administrado todavía por el ICBG. De este modo y después de un largo proceso, ratificaron las normas para compartir las ventajas y beneficios con las poblaciones locales.

El segundo caso es el de un grupo farmacéutico nacional, Sandoz-Novartis con la Unión de las Comunidades Zapoteco-Chinanteca (Uzachi con cuatro comunidades: Trinidad, Santiago Xiacui, Capulalpam de Méndez y Santiago Comaltepec), intermediado por una ONG local: ONG ERA. Está gestionada por Francisco Chapela, director, y su hermano Ignacio, microbiólogo e investigador en Berkeley, antiguo empleado de Novartis. Estamos también ante una actividad de bioprospección. En este caso está considerado un sueldo para las actividades de recolección. Novartis invierte 100 000 dólares en un laboratorio dedicado al estudio de hongos, un ejemplo que va a servir para otras comunidades del país. Es un proyecto que forma parte del mercado desde hace 20 años. Cuatro condiciones han sido pactadas: 1) Las plantas y el conocimiento tradicional están excluidos del proyecto; 2) El trabajo de recolección tiene que ser realizado por los miembros de la comunidad y el acceso de los científicos a las comunidades está prohibido; 3) La patente sobre los microorganismos también está prohibida; 4) Son preferibles los beneficios a corto y mediano plazo para el desarrollo local ante los beneficios financieros a largo plazo, como compartir royalties.

Por su parte Vietnam tiene una política liberal de bioseguridad que se acompaña de una política científica a favor de las biotecnologías de la salud (en microbiología y en virología) y de la agricultura. Es un ejemplo de propiedad intelectual sobre los “seres vivos” en una economía socialista de mercado. Vietnam produce 4.8 millones de toneladas de maíz, pero importa 2 millones al año. Está la cuestión del derecho de los agricultores a producir sus semillas; hoy asistimos a una propiedad industrial de las semillas. En Vietnam podemos patentar las plantas y todos los animales, hecho que demuestra la falta de un debate democrático en la orientación científica. El *lobbying* internacional y los intereses sobre los recursos de este país aprovechan el acuerdo votado en 1994, la resolución del decreto n18 NQ/CP votada por el partido comunista, que consiste en promover las biotecnologías. En 2003, por ejemplo, produjeron campos de plátanos modificados genéticamente, lo que permitió que maduraran más lentamente. El Servicio Internacional para la Adquisición de las Aplicaciones de las Biotecnologías Agrícolas (ISAAA) está financiado por la empresa Monsanto y por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID); por lo tanto, está influenciado políticamente por éstas en materia de bioseguridad, aunque el proyecto de ley fue presentado por el profesor Tran Duy Quy, director del Agricultural Genetic Institute (AGI), como resultado de una colaboración con la universidad estadounidense Cornell en Hanói.

El caso de Brasil es el modelo más controlado y por lo tanto permanecen en una flexibilización de las normas de acceso y de participación de los beneficios consagrados a favor de la ciencia. Entre 2000 y 2001 pusieron medidas provisorias para regular el acceso a sus recursos, pero al parecer van a complicar de manera inútil el acceso a los recursos genéticos: por un lado no pudieron prohibir el acceso y por otro limitaron la investigación, según los científicos.

En el caso de Brasil, el trabajo de Catherine Aubertin y Florence Pinton es complementario al tema de la patente y de la propiedad intelectual, y al mismo tiempo articula la movilización colectiva, la cultura y el conocimiento (Aubertin, Pinton, 2015). El bioma en la región del Cerrado en Brasil es un ejemplo de la dificultad de proteger el derecho a la tierra a partir de la noción de cultura desconectada de la movilización política. A partir de los años setenta observamos una transición hacia dos lógicas: primera, una ecología funcional que denominan biodiversidad pero que se resume en las capacidades de servicio más que en las calidades y la conservación de especies y genes; segunda, una gestión de mercado realizada por las políticas públicas y que incluye a las poblaciones locales.

La región del Cerrado en Brasil tiene una historia muy distinta a la de la Amazonia. En 1973 el Instituto Brasileño de Investigación Agrícola promovió el desarrollo de la producción intensiva de semillas, de carne y de leche en esta tierra. De 2002 a 2008 la deforestación anual fue de 14 200 kilómetros, dos veces más que en la Amazonia, debido a la incorporación de una nueva actividad para la producción energética: el cultivo intensivo de la caña. Por lo tanto, su ecosistema está considerado como el ecosistema de selvas más diverso del mundo, con 5% de la biodiversidad mundial. Es un territorio considerado como una Amazonia al revés, porque su capacidad de captación del carbono viene del sistema radicular (de las raíces).

A partir de 2003 recibió apoyo financiero para su conservación. Considerado como un bioma, un ecosistema donde las especies son perfectamente adaptadas dio lugar a múltiples intereses nacionales e internacionales para su conservación, explotación y gestión; a la vez recibió fondos de diversos organismos para su gestión desde una lógica que los autores llaman de *agrobusiness*. En 230 000 hectáreas viven 4 000 personas en una tierra llamada Kalunga, pueblo del Cerrado. Son campesinos, poblaciones indígenas y quilombolas, esclavos negros que han huido y que tienen derechos reconocidos en la constitución brasileña. Las relaciones entre las poblaciones están desarticuladas, sin un tejido social fuerte. Las prácticas culturales se apoyan en el desarrollo de conocimientos tradicionales y de una cultura tradicional, pero no se han desarrollado reivindicaciones políticas, al contrario de lo que ocurre en las poblaciones de la Amazonia. La paradoja del reconocimiento de este espacio como un bioma y los recursos que facilitaron en parte su gestión hizo también que las poblaciones no tuvieran que movilizarse en contra de las violaciones de los derechos humanos.

Para concluir: articulación de la lucha colectiva y de una “nueva civilización”

Acabamos de hacer una presentación de las posturas recientes que tratan la problemática de la biodiversidad, del conocimiento y de la diversidad cultural. Presentamos también estudios de casos para entender la biodiversidad con la ayuda de ejemplos concretos en tres países: México, Brasil y Vietnam.

Entre la presentación de la ontología política de Arturo Escobar y la de los críticos de la biodiversidad se establecen varios puentes de diálogo, en particular la constatación de que vincularse con la Tierra se volvió un acto transgresivo, susceptible de represión y objeto de lucha. Los dos enfoques tienen intuiciones pertinentes para analizar alternativas, permiten articular juntos la lucha y la formación de una consciencia colectiva, una “nueva civilización”.

Por lo tanto, se necesita mantener un diálogo abierto entre los distintos análisis. Las posturas críticas debilitan la posibilidad de una propuesta. En ocasiones el “arma” se voltea hacia sí misma y dificulta cualquier posible cambio.

Si bien, a la inversa, Escobar potencializa una alternativa, se lamenta de su tendencia a trabajar en contra de sus predecesores en lugar de con ellos. En particular, sus ambivalencias con la tradición crítica, que encaja en una ontología moderna y dualista, es un ejemplo. Habría en particular que retomar un debate con los aportes y la elaboración de lo simbólico en el tema de la diferencia y de la dominación (Bourdieu, 1970, 1979, 1992; Foucault, 1966; Lacan, 1966).

Otro punto de debate es su desconexión con el análisis del sistema capitalista y de su modo de producción de acumulación del capital en los estudios postcoloniales. Aun si Escobar retoma con mucha claridad las propuestas del movimiento zapatista, es difícil entender cómo la propuesta de una “cultura radical” puede existir sin el profundo rechazo de una sociedad en la cual el motor sigue siendo la compra y la venta.

Finalmente, subrayamos que el rescate que lleva a cabo del trabajo de Deleuze y Guattari resulta una hipótesis central para replantear la ecología del mañana. Escobar nos recuerda sus grandes aportes como pensador de la complejidad y de la diferencia; además, el concepto de rizoma desarrollado en *Capitalisme et schizophrénie* (1980) propone una nueva epistemología y método que tiene la ventaja de alejarse de una visión jerárquica y permite proponer configuraciones inéditas: mutaciones, multiplicidad, conexiones y heterogeneidad. Deleuze y Guattari toman como ejemplo la estructura de una planta. En la teoría del rizoma, el rizoma es el bulbo que aparece en la rama de la planta en lugar de en la raíz. Efectivamente Deleuze y Guattari permiten integrar las combinaciones, las transformaciones, las diferencias, pero desapruaban el quid de la cuestión que es la “territorialización”, tan querida por Arturo Escobar. Justamente la fuerza de la teoría de Deleuze y Guattari es que apuestan hacia una “desterritorialización”. En el primer volumen de *Capitalisme et schizophrénie*, *L’anti-Oedipe* (1972), presentan una crítica radical de Freud. En principio hacen la apología del gran aporte de Freud sobre la libido y el inconsciente. Después, lo reprueban por la “territorialización” que hace Freud de esos conceptos en la célula familiar, limitándolos a su teoría de Edipo. Deleuze y Guattari reflexionan sobre la diferencia, la complejidad y el cambio desde la lógica del no-sentido y del evento, y es desde esta perspectiva que se debe entender la “desterritorialización” del deseo y al cambio. Este debate lleva a interrogar los límites de una política que gira alrededor de cuestiones identitarias y territoriales más que sobre los valores universales y los derechos universales.

Referencias

- Aglietta, M. (1976), *Régulation et crises du capitalisme*, Paris, Éditions Calmann-Lévy.
- Althusser, L. (1965), *Pour Marx*, Paris, Éditions F. Maspero.
- Aubertin, C., F. Pinton (2015), *L'invention du biome Cerrado, socio-biodiversité et économie verte au Brésil. In le pouvoir de la biodiversité. Neolibéralisation de la nature dans les pays émergent*, Marseille, Editions Quae/IRD Editions, pp. 147-161.
- Barthes, R. (1966); *Critique et vérité*, Paris, Éditions du Seuil.
- Birch, K. D. Tyfield (2012), "Theorizing the bioeconomy: biovalue, biocapital, bioeconomics or... what?", *Science, technology and human values*, 38(3), pp. 299-327.
- Bolin, B. (2003), "Geophysical and geochemical aspects of environmental degradation", en K. G. Måler y J. R. Vincent, *Handbook of environmental economics*, vol. 1, Elsevier Science B.V., 1, pp. 7-59.
- Bourdieu, P. (1979), *La distinction: critique sociale du jugement*, Paris, Les Éditions de Minuit.
- (1980), «Le capital social. Notes provisoires», *Actes de la Recherche en Sciences Sociales*, 31, pp. 2-3.
- Bourdieu, P., J.-C. Passeron (1970), *La reproduction : éléments pour une théorie du système d'enseignement*, Paris, Les Éditions de Minuit.
- Bourdieu, P., L. Wacquant (1992), *Réponses: pour une anthropologie réflexive*, Paris, Le Seuil.
- Couvert, D., A. Teyssedre (2010), *Écologie et biodiversité*, Paris, Belin.
- Dabène, O. (2008), *Amérique latine, les élections contre la démocratie?*, Paris, Presses de Science-Po.
- (2009), *The politics of regional integration in Latin America*, Palgrave Macmillan.

- (2011), *L'Amérique latine à l'époque contemporaine*, Paris, Armand Colin.
- Deleuze, G., F. Guattari (1972), *Capitalisme et schizophrénie 1, L'anti-oedipe*, Paris, Les Editions de Minuit.
- (1980), *Capitalisme et schizophrénie 2, Mille Plateaux*, Paris, Les Editions de Minuit.
- Descola, Ph. (2005), *Par-delà nature et culture*, Paris, Gallimard.
- (2010), *Diversité des natures, diversité des cultures*, Paris, Bayard.
- Escobar, A. (2012), "Cultura y diferencia: la ontología política del campo de cultura y desarrollo", *revista Walekeru* (2).
- (1998), "Whose knowledge, whose nature? Biodiversity, conservation, and the political ecology of social movements", *Journal of Political Ecology*, 5, pp. 53-82.
- (1997), *Biodiversidad, naturaleza y cultura: localidad y globalidad en las estrategias de conservación*, México, Colección El Mundo Actual, UNAM-CEIICH.
- (2014), *Sentipensar con la tierra. Nuevas lecturas sobre desarrollo, territorio y diferencia*, Medellín, Unaula.
- Escobar, A., A. Pedrosa (1996), *Pacífico: desarrollo o diversidad? Estado, capital y movimientos sociales en el Pacífico colombiano*, Bogotá, CEREC/ Ecofondo.
- Fleury, C., A.-C. Prévot-Julliard (2012), *L'exigence de la réconciliation. Biodiversité et société*, Paris, Fayard.
- Foucault, M. (1966), *Les mots et les choses. Une archéologie des sciences humaines*, Paris, Gallimard.
- (2004), *Naissance de la biopolitique. Cours au Collège de France 1978-1979*, Paris, EHESS/ Gallimard/ Seuil.
- Freud, S. (1981), *Au-delà du principe de Plaisir*, Paris, Editions Payot.

- (2010), *Le malaise dans la culture*, Paris, Editions Flammarion.
- Hayden, C. (2003), *When nature goes public. The making and unmaking of bioprospecting in Mexico*, Princeton, Princeton University Press.
- Ingold, T. (2000), *The perception of the environment*, Londres, Routledge.
- Lacan, J. (1966), *Écrits*, Paris, Éditions du Seuil.
- Latour, B. (1995), *La science en action. Introduction à la sociologie des sciences*, Paris, La Découverte.
- (1997), *Nous n'avons jamais été modernes. Essai d'anthropologie symétrique*, Paris, La Découverte.
- (2004). *Politiques de la nature. Comment faire entrer la science en démocratie*. Paris: La découverte.
- Marx, K. (1989), *Contribución a la crítica de la economía política*, Moscú, Editorial Progreso.
- Maturana. H., F. Varela (2003 [1984]), *El árbol del conocimiento. Las bases biológicas del entendimiento humano*, Buenos Aires, Editorial Lumen.
- McAfee, K. (1999), "Selling nature to save it? Biodiversity and the rise of green developmentalism", *Environment and planning D, Society and Space*, 17, 2, pp. 133-154.
- Rajan, K. S. (2006), *Biocapital, The constitution of postgenomic life*, Durham London, Duke University Press.
- Takacs, D. (1996), *The idea of biodiversity: philosophies of paradise*, Baltimore and London, The John Hopkins University Press.
- Thomas, T. y V. Boisert (2015), *Le pouvoir de la biodiversité. Neolibéralisation de la nature dans les pays émergent*, Marseille, Editions Quae/ IRD Editions.
- Waldby, C. (2002), *Stem Cells, Tissue cultures and the production of biovalue. health, An interdisciplinary journal*, 3,3, pp. 305-323.

Aspectos económicos



Introducción a la economía entre límites y necesidades

Sazcha Marcelo Olivera Villarroel¹

Introducción

La sociedad se define como el conjunto de personas que comparten una misma cultura o civilización en un espacio o tiempo determinados y que se relacionan entre sí a partir de determinadas reglas de organización, jurídicas y consuetudinarias (Oxford, 2016). Como señala Diamond (2013), son los estilos de vida tradicionales y el medio en que se desarrollan los que nos modelaron y convirtieron en las sociedades que somos ahora, por lo que entender las relaciones históricas de la sociedad nos permite comprender su comportamiento y evolución.

Como especie, el género humano es gregario, pasa la vida en compañía de otros seres de la misma especie. Se organiza en varias clases de agrupamientos sociales, como hordas nómadas, pueblos, ciudades y naciones, dentro de los cuales trabaja, comercia, juega, se reproduce e interactúa de diferentes formas. A diferencia de otras especies, combina la socialización con cambios deliberados en el comportamiento y organización social a través del tiempo. En consecuencia, las pautas de sociedad humana difieren de un lugar a otro, de una era a otra y de una cultura a otra, haciendo del mundo social un medio muy complejo y dinámico [Proyecto 2061, 2016]

El hombre como especie parece tener un propósito simple en este mundo: sobrevivir, acción que depende en gran medida de su capacidad de convivir en grupo y de dirimir sus diferencias para obtener logros mayores, adaptando y modificando el medio para satisfacer sus necesidades. Es así como se

¹. Trabajo desarrollado en colaboración con Marco Antonio Ruiz Fuentes, de la licenciatura en Ciencias de la Comunicación, UAM-Cuajimalpa, y Pamela Magaña Guzmán, de la licenciatura en Biología, UAM-Iztapalapa

desarrolla un estilo de vida que permite a la población subsistir en función de su aprovechamiento del medio. El autoabastecimiento, el uso de los recursos existentes y la satisfacción de necesidades propias fueron principios que el hombre tuvo y sigue teniendo como pauta principal de comportamiento.

Las relaciones sociales del hombre, desde sus primeros tiempos en las sabanas tropicales hasta su posterior desplazamiento a zonas costeras, le permitieron obtener alimento mediante la recolección o la caza de animales, teniendo en principio el desarrollo de procesos de autosuficiencia familiar, en los cuales cada grupo debía cubrir sus necesidades sin la participación de otros miembros o grupos sociales, dado el reducido número de miembros en las sociedades primigenias. A esta forma particular de satisfacción de necesidades se le ha definido como autarquía (Favila, 2016).

Sin embargo la autarquía no bastaría por sí sola para resolver los nuevos estilos de vida que el hombre estaba adoptando; se necesitaba una forma de organización que permitiera el desempeño eficiente de las labores de caza, pesca y recolección. Estas necesidades propiciaron la adopción de un nuevo proceso de generación de recursos: la división del trabajo, que consiste en destinar tareas de acuerdo a la edad y el género de los miembros de determinado grupo (Durkheim, 1987).

La finalidad de la especialización del trabajo es facilitar las tareas de búsqueda de recursos para la sobrevivencia de grupos humanos cada vez más numerosos. El hombre especializado en procesos de producción específicos comenzó a entender con mayor claridad el comportamiento animal y vegetal y por lo tanto a tener control sobre los animales y las semillas; es decir, este proceso propició la domesticación de plantas y animales y con ella dio inicio a la agricultura y la ganadería (Asimov, 1980).

La agricultura parte de la aplicación de conocimientos sobre el manejo de la tierra y el entendimiento del clima para producir diversos productos vegetales (como verduras, frutos, granos y pastos) destinados a la alimentación del ser humano y el ganado. Para esta actividad es muy importante el carácter grupal, sobre todo en cuanto a la adecuación de terrenos y la implementación de sistemas de riego, actividad que históricamente ha sido puesta en marcha por grandes grupos humanos con el fin obtener excedentes de producción para la alimentación (Asimov, 1980).

La ganadería, por su parte, da la pauta para que el hombre empiece a tener control sobre los rebaños, se apropie de ellos y herede el conocimiento que permita manejarlos, conservarlos y reproducirlos sin necesidad de la participación de grandes grupos humanos, sino sólo de grupos familiares compactos

que en este aspecto generen el concepto de propiedad privada con dichos animales, además de los recursos que puedan ser obtenidos y controlados por personas y grupos en particular (Engels, 1884). Engels asegura que existen en ese momento dos clases sociales: los que tienen o poseen recursos y los que deben ofrecer su trabajo para poder acceder a dichos recursos.

La segunda gran división del trabajo surge de la necesidad de separar a los oficios o actividades, de la agricultura y la ganadería. Es precisamente a partir de esta separación como la sociedad conoció una nueva forma de organizarse: conformando grupos sociales especializados en la producción de bienes suntuarios y estatutarios, objetos ornamentales (abalorios) que distinguían el papel y clase social de sacerdotes, guerreros y labriegos, grupos ajenos a la producción y recolección de bienes primarios (Engels, 1884).

Mediante estos procesos de organización la sociedad entra en una nueva etapa de desarrollo, al superar la economía de subsistencia y lograr excedentes de producción, tanto de orden grupal como de orden individual. Dichos excedentes permitían un intercambio siempre y cuando las partes involucradas tuvieran la certeza de obtener una utilidad al realizarlo; es decir, se daba el intercambio comercial así se podía conseguir la propiedad de un bien o servicio que de otra manera sería difícil o imposible obtener. El primer comercio establecido se basó en el trueque uno a uno, que sin duda se fue sofisticando y llenando de reglas, siempre con la idea del bien común (Salinas, 2010).

La aparición del mercado como institución fue necesaria para regular el intercambio de productos. Mercado es un sistema que pone en contacto a compradores y vendedores, a la vez que orienta la estructuración de precios y la realización de intercambios (Casares *et al.*, 2009). El intercambio es, entonces, el mecanismo más importante al negociar bienes y servicios.

La introducción del dinero en las relaciones de intercambio sería el gran invento de la humanidad, al permitir facilitar ese intercambio más allá de las relaciones uno a uno entre personas con necesidades complementarias de consumo. La palabra Dinero deriva del latín *denarium*, nombre de una moneda que utilizaron los romanos para realizar sus actividades comerciales, cuyas principales características eran la subdivisión de los productos a ser intercambiados, la acumulación de este medio abstracto y la preservación del valor de la actividad humana incorporada en forma del medio abstracto: el dinero (Filippini, 2016).

La comparación constante en relación con el éxito entre individuos determina quién es rico, quién tiene más bienes. Esto es, la riqueza es un parámetro

que el hombre difícilmente saciará y que funciona como factor en la comparación del éxito en la vida, entendido como la satisfacción de necesidades ilimitadas con recursos limitados, en la que el dinero representa la posibilidad de satisfacer esas necesidades en el corto y largo plazos. Así, el uso del dinero representa una forma abstracta de confianza de la sociedad en sí misma; de planificar, en los contextos pasado y presente, en función de dar certeza a un futuro incierto pero aun así predecible.

Cada día se extraen recursos del planeta para cubrir nuestras necesidades, creyendo que no es posible el crecimiento sin una producción industrial masiva (Zalva, 2013). Este problema se encuentra fuertemente ligado a la idea de crecimiento económico desde una visión clásica, sin atender los límites cada vez más apremiantes en los que se mueve la economía (Suárez y Molina, 2014).

La causa mayor del deterioro continuo del medio ambiente global es el insostenible modelo de producción y consumo, particularmente en los países industrializados. En tanto que en los países en desarrollo la pobreza y la degradación ambiental están estrechamente interrelacionadas (Jiménez, 1996).

Si tales modelos resultan ahora 'insostenibles' es porque se evidencia la imposibilidad de seguir manteniendo un método de desarrollo que se ha basado históricamente en la explotación del ambiente, en general, y del ser humano en particular (Colín, 2003). Por estos motivos, es necesario impulsar métodos de manejo sustentable de los recursos.

Cuando se habla de sustentabilidad se habla básicamente de balancear los aspectos productivos con los servicios ambientales y la puesta en marcha de métodos que los manejen a corto, mediano y largo plazos; esto pensando en que las futuras generaciones logren mantener la posibilidad de producir bienes, de contar con ambientes sanos y de gozar de bienestar. Este concepto incorpora también la necesidad de equidad social, considerando a los diversos actores que intervienen en o que pueden ser afectados por las decisiones de uso del espacio (Rusch, 2008).

Del determinismo geográfico a la concepción del dinero

Diferentes grupos humanos, dependiendo de la región del planeta, han desarrollado sociedades industrializadas alfabetizadas y poseedoras de utensilios de metal, mientras que otros sólo han desarrollado comunidades agrícolas no alfabetizadas, y, en contrapeso, otros que han seguido albergando

sociedades de cazadores-recolectores equipados con instrumentos de piedra. Estas desigualdades históricas han proyectado largas sombras sobre el mundo moderno, sobre todo porque las sociedades alfabetizadas que disponían de herramientas de metal han conquistado o exterminado a los demás grupos humanos (Diamond, 2007).

El determinismo geográfico es la primera explicación expuesta por Diamond en la que se puede señalar en primera instancia que la riqueza de cada grupo de individuos surge de su posición geográfica en la tierra y es la condición primaria de la cultura desarrollada. La posición geográfica determina las condiciones y estilos de vida, pues la distribución de recursos naturales es desigual en todo el planeta Tierra.

Los grupos de cazadores-recolectores en la edad de piedra, en su lucha por la supervivencia, tomaron rutas distintas. Recorriendo las líneas costeras que eran las que proporcionaban la mayor fuente de alimentos, las organizaciones humanas comenzaron a distribuirse por los principales continentes: Eurasia y África.

Así la Edad de Piedra se vio caracterizada por el uso de herramientas de piedra para la caza, el desarrollo de utensilios y herramientas rudimentarios para la agricultura, todo ello hasta el descubrimiento y manejo de metales como el bronce y el acero. Fue así como el manejo de los metales permitió la cacería, la agricultura y la domesticación de algunos animales, domesticación y manejo que concibieron la propiedad privada como forma de retención de riqueza y recursos, llevando con ello al intercambio de bienes y servicios.

Las condiciones que existían hasta ese entonces eran propicias para la creación de un mercado, es decir un órgano o institución que pudiera regular las formas de intercambio entre los individuos. Tenemos que ser conscientes de que las primeras economías de transacciones directas tenían necesidades, reglas y limitaciones, pero también que significaban una mejora en la vida de los individuos. Está claro que el primer comercio establecido se basó en el trueque uno a uno, pero que, sin duda se fue sofisticando y llenando de reglas que tendían a beneficiar a toda la sociedad.

Una de las consecuencias lógicas de los primeros mercados fue orientar a muchos individuos en la especialización de parte o de toda su producción para obtener el resto de productos necesarios para la vida diaria con ventajas. Dado que quien acertara con los excedentes más apetitosos sería el que lograra los intercambios más favorables, cabría pensar que unos podrían llegar a vivir mejor que otros y, tal vez, que algunos no alcanzaran el mínimo para su subsistencia (Salinas, 2010).

Para Aranzadi (2004) el mercado es una construcción humana, es decir un sentido o institución que utilizamos culturalmente para satisfacer nuestras necesidades. Efectivamente, el mercado era y ha sido usado como el medio para generar un *valor del bien económico*, es decir, un bien que cumple funciones dentro del mercado, con *valor de uso* y *valor de cambio*.²

Cuadro 1. Supongamos el intercambio de una vaca desde una lógica de mercado. Ésta tiene un valor de uso, que en caso hipotético sirve para alimentar con leche a una familia, y un valor de cambio pues la vaca puede servir para cambiarse por dos sacos de granos de trigo.

Ahora bien, si hay escasez de vacas en el mercado y su valor de cambio es superior a los dos sacos de arroz que el productor podía darse el lujo de intercambiar, por ejemplo tres sacos de trigo, las opciones del productor de trigo para obtener la vaca serían muy bajas o nulas. En este escenario el acto de negociar cobra sentido, pues el productor de trigo podría dar dos sacos este año y uno al siguiente año; para ello se debe confiar en que la promesa de pago se realizará. Simmel (2013) dice: “sin la confianza general que la gente tiene en los demás, la sociedad se desintegraría [...]”. Es entonces cuando el productor hace una promesa con el mercado y se genera un interés de todas las partes, y se hace la transacción.

Esa promesa de pago en sus inicios se registraba en una tablilla de arcilla con la huella del productor y la deuda que tenía no sólo con la persona que tenía el acuerdo de intercambio, sino con el propio mercado donde se hacía la promesa. Con el paso del tiempo la forma de hacer la promesa de pago fue evolucionando, pues pasó de hacerse en tablillas de arcilla a registrarse en metales maleables, método que fue evolucionando hasta llegar a la moneda y al uso del dinero como lo conocemos hoy en día, una promesa de pago intercambiable por cualquier producto.

Observamos pues que el mercado en primera instancia cumple una función de servicio que se ejecuta en el marco de las relaciones sociales. Los propósitos de dicho servicio son los mismos por los que opera la economía en un sentido práctico: la invención de necesidades para luego satisfacerlas. El hombre está obligado a satisfacer, a introducir sus necesidades y su satisfacción al mercado, como un medio mundano (Aranzadi, 2004).

² Conceptos recuperados de J. Aranzadi (2004), “El mercado como institución social”.

Los diferentes pueblos de la antigüedad, antes y después de la aparición del dinero, buscaron soluciones que fueran éticas y equitativas para los mercados, ya que esta institución no es más que la expresión de organización de las sociedades. Esas soluciones eran locales, como el valor de los productos. Si el valor de los productos es local, el mercader debe conocer qué producto es más apreciado en cada lugar y cuál supone el mayor excedente de los mismos.

Transportar los excedentes de un lugar a otro puede suponer un beneficio adicional para los mercaderes, pero también para los pueblos, pues permite la especialización según los productos más adecuados para cada área, y la posibilidad de obtener otros que ahí no se producen en cantidad suficiente. Aquí los comerciantes se hacen indispensables para el desarrollo (Salinas, 2010).

En este contexto de mercado, el dinero pasa a convertirse en un relativo de confianza con valor en sí mismo, que se puede cambiar y que en el sentido estricto pasa a ser información (Aranzadi, 2004).

El dinero no es más que un medio, un material, un ejemplo para la presentación de las relaciones que existen entre los fenómenos más superficiales, realistas y fortuitos y [...] las corrientes más profundas de la vida individual y de la historia (Simmel, 2013).

El dinero se desarrolló en muchas áreas del mundo y en distintas épocas y no sólo por razones económicas. El intercambio de cosas entre seres humanos es la actividad básica en todas las culturas desde siempre y pudo facilitarse gracias a la aparición de las monedas y del dinero en general. Las principales funciones del dinero son: facilitar el intercambio de mercaderías por tratarse de un bien convencional de aceptación general por el Estado; actuar como unidad de cuenta, es decir expresar en determinadas unidades los valores que ya poseen las cosas.

En este caso se denomina función numeraria y, como patrón monetario, regulación de la cantidad de dinero en circulación en una economía, por medio de una paridad fija con otro elemento central que lo respalda y que puede ser un metal precioso o una divisa fuerte de aceptación generalizada en el ámbito internacional, para todo tipo de transacciones comerciales (Filippini, 2016).

Consumo y producción en el mercado

A partir de este momento no podemos dejar de pensar el mercado actual como una abstracción de un lugar que probablemente no existe físicamente,

pero que representa un parámetro de reglas establecidas a lo largo del tiempo, donde la sociedad expresa las condiciones básicas de organización social. Hasta el momento no hemos profundizado en las dinámicas del mercado, para lo cual cabe advertir que éste funciona mediante dos factores principales, el consumo y la producción, que a su vez le proporcionan información que lo transforman en un ágora de libre información.

Esa libre información se refiere a los precios: cuando uno está en el mercado lo que observa son precios. El precio, según este enfoque,³ representa un conjunto de datos e información que podrían ser la escasez relativa del bien o servicio a consumir en un lugar en particular, costos de transacción, y, sobre todo, cuántos bienes y servicios se dejan de consumir al elegir una opción de compra en particular; ya que por regla general los consumidores están restringidos por una limitada cantidad de dinero para efectuar la compra de un conjunto de bienes y servicios (Olivera y Flores, 2014). Esta aseveración explica satisfactoriamente el comportamiento del precio en la producción y en el consumo.

Centrémonos ahora en tratar de explicar cómo funciona el consumo. Una de las premisas básicas que se debe entender es que el consumo genera utilidad y que se ve determinado por límites en cuanto a la cantidad de recursos. Cuando consumimos estamos decidiendo tener más de un producto, haciendo un sacrificio, dejando de consumir otros productos, bienes o servicios. Supóngase un consumidor que tiene una función de utilidad U , la cual se traduce en saber que su aporte monetario permite obtener la mayor cantidad de una característica en un bien o servicio, y un ingreso que es el presupuesto total en un momento dado. (Olivera y Flores, 2014).

Así, podemos afirmar que la función del consumo considera aspectos como la localización del mercado L_p , la calidad del producto C_p , la cantidad a consumir Q , el precio P , el límite de recursos con el que se cuenta para consumir Y , y la utilidad U_{oi} que les genera el mismo producto a diferentes factores, como la cultura, etcétera. La fórmula de utilidad U se representa de la siguiente manera.

$$U[Y(P,Q), L_p, C_p, U_{(oi)}]$$

Una vez que se genera el consumo, consciente o inconscientemente, dentro del mercado, estaremos generando y consumiendo información. La tendencia de los precios y la información dentro del mercado es constante, por eso

³ Se refiere a un enfoque cuantitativo usado principalmente por las ciencias económicas.

se dice que vivimos en la sociedad de la información, entendido esto desde el punto de vista económico. Todo lo anterior está relacionado en gran medida con el consumo, ¿pero cómo es que se le da un valor económico a un bien o servicio objeto?

La economía clásica desde la época de Adam Smith, David Ricardo y Carlos Marx se han hecho ya esta pregunta; puede responderse en forma sucinta que el valor depende en gran medida del tiempo invertido en su producción y del valor de los insumos con los que el bien o servicio fue creado.

De los modos de producción hacia la economía del conocimiento

En primer lugar la producción debe satisfacer la demanda de bienes y servicios de una sociedad en particular, que como vimos tiene necesidades y recursos particulares según la región del planeta donde se encuentre. Todo lo que se demanda se produce, y los mecanismos de producción son llamados por la economía como modos de producción.

Dichos modos de producción han sido distintos a lo largo de la historia del hombre, y sin duda tienen que ver con el desarrollo de la humanidad y con sus sociedades en las distintas etapas históricas. Podemos observar este fenómeno mediante la función de producción $P(L, K, T)$, donde L representa el trabajo, K representa el capital como el dinero invertido en herramientas para producir, y T el trabajo. Para comprender más a fondo la función debemos tener presente que el trabajo genera un salario, la tierra una renta, y el capital, utilidad.

La sociedad esclavista, por ejemplo, basaba fuertemente en el trabajo sus actividades o modos de producción; a la tierra y el capital los veía como los factores menos importantes para su desarrollo económico. La mano de obra en este sentido era barata, pues sólo se pagaba por el esclavo y no por su trabajo, por lo que producir requería más de un sistema de adquisición y control de esclavos que de tecnología de producción (Anderson, 1979), es decir, supeditaba como factor principal de producción a la mano de obra esclava.

Otro modo de producción es conocido como fisiocracia, que significa "gobierno de la naturaleza", corriente que sugiere que la riqueza de una nación se debe basar en las actividades agrícolas; la naturaleza posibilita que el producto obtenido sea mayor que los insumos utilizados en la producción, surgiendo así un excedente económico. Los fisiócratas rechazaron las actividades

como la manufactura o el comercio, centrando la generación de la producción sólo en el insumo tierra (Beblawi, 1987).⁴

Otra forma de producción social es el capitalismo, donde los factores más importantes para la producción son el trabajo y el capital, ignorando casi por completo el factor tierra. En este sistema en particular se centra Marx para explicar, en su libro *El capital*, las relaciones sociales dominantes en el sistema de producción de los siglos XIX y XX.

Este modelo de producción basado en la producción de excedentes y en el uso de capital y mano de obra, como mencionaba Marx, tiende a tener contradicciones internas, una de las cuales se ve en la crisis de 1929, también conocida como la gran crisis económica o la gran depresión, cuyas causas fueron la superproducción ante un mercado que no demandaba más productos, es decir no tenía en cuenta las demandas reales de la sociedad para la cual se producía,⁵ y las crisis sociales, al no contemplar la calidad de vida y consumo de sus trabajadores que en última instancia son la sociedad para la cual producen. O en crisis ambientales, por la sobreexplotación de recursos o la contaminación del ambiente por el desarrollo industrial.

Una de las opciones de adaptación a este tipo de crisis por parte del modo de producción capitalista fue la introducción de variables de producción relativamente nuevas, como el capital humano (K_h) y el capital tecnológico con su respectiva innovación y creación de nuevas estructuras de uso de tecnología (A_{KT}) (Schumpeter, 1942), y la aceptación de las limitantes ambientales con la reintroducción del factor tierra (T) dentro de la fórmula de la producción.

$$P(L, K_H, A_{KT}, T)$$

Parecería una pequeña reformulación, pero de fondo existe una cantidad de recursos que se destinaron a los nuevos factores, como son: capacitación de personal especializado, innovación, investigación desarrollo y producción tecnológica. Tal es la magnitud del cambio a las formas de producción que ha abierto dentro de los sectores económicos una de reciente construcción que se enfoca a la información y el conocimiento. Este nuevo sector también es conocido como sector cuaternario, donde la producción se vuelve hacia una economía del conocimiento.

⁴ Idea originalmente sustraída de http://economicscritica.net/web/index.php?option=com_content&task=view&id=128&Itemid=39

⁵ Tengamos en cuenta que todos los fenómenos que acontecen en el aspecto social son fenómenos de larga duración, como lo decía Fernand Braudel ().

La incorporación masiva a la actividad económica de las tecnologías de información y comunicación (TIC), los efectos del proceso de mundialización económica y el cambio en los patrones de consumo de las familias, sientan las bases de un importante proceso de transformación económica que podemos resumir en la transición hacia una economía basada en el conocimiento (Vilaseca, Torrent y Díaz, 2002).

La economía del conocimiento, como refiere la OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), define a las economías del conocimiento como aquellas basadas directamente en la producción, distribución y uso del conocimiento e información, que están apoyadas por los rápidos avances de la ciencia y las tecnologías de la comunicación e información. Hasta hace algunas décadas el conocimiento, la productividad, la educación y la tecnología no eran considerados como los principales determinantes del crecimiento económico. La concepción de la sociedad es un fenómeno actual que se ha desarrollado de manera rápida (Vilaseca *et al.*, 2002).

A partir de la segunda mitad de la década de los noventa, las economías desarrolladas se han caracterizado por la progresiva implantación de las tecnologías de la información y por la comunicación en el conjunto de las actividades económicas, tanto de producción como de distribución y consumo. La carrera por la investigación y desarrollo es cada vez más ardua y compleja, y fomenta la educación de la población en general así como la investigación de las universidades a la nueva estrategia de producción de conocimiento y desarrollo. Como dice Waldemiro Vélez (2008), la economía del conocimiento viene hacer un instrumento muy útil para modelar y así justificar los cambios y reformas que están teniendo lugar en las instituciones de educación superior (IES).

Sin embargo, hay que hacer la sutil distinción de que la manera de salir de la crisis en un país no es apostando todo a la educación, al conocimiento y a la información, pues sería un error, y para muestra tenemos el hecho mundial en el que Estados Unidos decidió apostar todos sus esfuerzos y recursos al sector cuaternario, descuidando al sector secundario o de fabricación, incluso dando el poder de dicho sector a China. Esto explica en gran medida las crisis económicas que vive actualmente Estados Unidos, pues al insertar el sector fabril en China la mano de obra se abarató y cambiaron las relaciones de precios en el ámbito mundial.

Conocimiento y ambiente

Los problemas ambientales relacionados con el desarrollo económico y social están siendo, desde hace algunas décadas, cada vez más tenidos en

cuenta por la sociedad, que se encuentra mejor informada acerca de los límites a los que estamos supeditados. El sistema de producción actual ha conducido a una situación crítica en la cual las soluciones han venido de la mano de cambios tecnológicos, sanciones, normativas más estrictas, establecimiento de impuestos para quien contamine o subsidios para quien elabore productos ‘verdes’ o amigables con el medio ambiente (Colín, 2003), siendo el entendimiento de los límites y el manejo de nuestras necesidades el principio que la sociedad debe comprender y manejar para relacionar en forma más armónica el desarrollo de la humanidad y la existencia del planeta.

La presión que ejerce la explosión demográfica, la producción y los patrones de consumo de los países industrializados sobre los recursos limitados, conlleva a la escasez y al agotamiento de los recursos (Jiménez, 1996). Si bien el desarrollo industrial de un territorio puede inducir una fuerte activación socioeconómica y mejoras en la calidad de vida de la población, también es capaz de ocasionar importantes modificaciones en el entorno y diversas formas de contaminación del aire, las aguas y los suelos, agotamiento de recursos naturales y su degradación (Suárez y Molina, 2014); por ejemplo, las modificaciones ocasionadas por las emisiones de gases que conforman el fenómeno conocido como “efecto invernadero”.

Se llama efecto invernadero al fenómeno por el que determinados gases componentes de una atmósfera planetaria retienen parte de la energía que emite el suelo tras haber sido calentado por la radiación solar (Caballero *et al.*, 2010). Estas desmedidas emisiones de gases conllevan a lo que hoy se conoce como cambio climático, una modificación en el estado del clima atribuida directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante periodos de tiempo comparables (Hernán, 2012).

En el último medio siglo, las emisiones de gases de efecto invernadero por habitante en los países industrializados han sido unas cuatro veces más altas que en los países en desarrollo, en general los países en desarrollo, y en particular las poblaciones más pobres y marginadas de esos países, serán los que sufran las peores consecuencias del cambio climático en el futuro por ser los más vulnerables a sus efectos, ya que tienen menos capacidad de adaptarse que los países desarrollados y sus poblaciones.

La evaluaciones de vulnerabilidad de diversos sectores bajo escenarios de cambio climático, han sido desarrolladas durante las dos últimas décadas, por ejemplo en México se han ido perfeccionando a la par de los escenarios de cambio climático, en la tabla 1 se muestra algunos impactos del cambio climático en sectores prioritarios para México (Segob, 2014).

TABLA 1. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO
E IMPACTOS EN DIVERSOS SECTORES EN MÉXICO

Sectores	Escenarios y posibles impactos (incrementos de temperatura de entre +2.5° C y 4.5° C disminución en la precipitación entre -5 y 10%)	Nivel de confianza
Alimentos	La mayoría de las investigaciones sugieren una disminución de la productividad del maíz para la década de 2050, lo que se suma al problema actual de 25% de las unidades de producción con pérdida en la fertilidad de suelos. Existe cierta evidencia de que la mayoría de los cultivos resultarán menos adecuados para la producción en México hacia el 2030, y que empeorarán hacia finales del presente siglo.	*
Recursos hídricos	La mayor parte del país se volverá más seca y las sequías más frecuentes, con el consecuente aumento de demanda de agua. Las zonas más vulnerables serán el sur y sureste	**
Inundaciones	Mientras las lluvias disminuirán en gran parte del territorio nacional, las tormentas fuertes podrán volverse más intensas y frecuentes, lo que aumentaría el riesgo de inundaciones, particularmente para casi dos millones de personas que actualmente se encuentran en situación de moderada a alta vulnerabilidad ante las inundaciones, y quienes residen en localidades menores a 5 000 habitantes, ubicadas principalmente en la parte baja de las cuencas. La incertidumbre es más alta respecto a los riesgos de desbordamiento de los ríos, pero las investigaciones sugieren que éstas serán más frecuentes para finales de este siglo.	***
Planicies costeras	La situación de estas zonas en Norteamérica podría empeorar por el aumento en los niveles del mar. El impacto para México es menos seguro, pero es posible que la agricultura se vuelva más vulnerable al aumento del nivel del mar, mientras otras áreas, como las residenciales, pudieran no verse afectadas.	**
Tormentas y clima severo	Hay consenso en cuanto a que la intensidad de los ciclones noroeste del Pacífico y el Atlántico Norte. Sin embargo, las incertidumbres en cuanto a los cambios y la intensidad complican estimar sus impactos para el país.	**
Pérdida de Biodiversidad	Posible reducción del área cubierta de bosques de coníferas, especies de zonas áridas, semiáridas y especies forestales de zonas templadas. Un aumento significativo en la temperatura de los océanos mexicanos puede ocasionar un colapso demográfico en las pesquerías. Posible reducción (para el 2050) de cerca de la mitad de los mamíferos terrestres y voladores analizados, con pérdida de más de 80% de su rango de distribución histórica	**
Construcciones e infraestructura	Se tiene poca información e investigaciones al respecto, salvo las disponibles para temas costeros e inundaciones.	

Los colores de los impactos. Es una medida subjetiva basada en el juicio experto, que considera la magnitud del impacto proyectado, la vulnerabilidad y la capacidad para hacerle frente.

- Nivel 1: Impacto bajo
- Nivel 2: Impacto medio
- Nivel 3: Impacto alto

Nivel de confianza. Se utilizó una clasificación de una a cinco estrellas, de las que el nivel cinco es el de mayor confiabilidad. También es una medida subjetiva basada en el juicio de expertos. Se considera que los trabajos arbitrados más actuales tienen un mayor nivel de confianza. Los factores que influyen en esto son el acuerdo entre los modelos climáticos, la madurez de la investigación sobre los impactos en el sector y el consenso entre los estudios sólidos disponibles para esta región.

Fuente: Segob, 2014. Visto en la exposición de Conde 2015.

Aunque los efectos del cambio climático son específicos de la ubicación y el nivel de desarrollo, se prevé que la mayoría de los sectores de la economía mundial se vean afectados, y a menudo ese impacto tendrá consecuencias para el comercio y por lo tanto en el nivel de consumo de la población (Organización Mundial del Comercio, 2009).

El cambio climático seguirá incrementando los niveles de riesgo así como los posibles impactos sobre la población; sin embargo, la evaluación de los impactos ofrece elementos sólidos para la realización de estudios de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático observado y proyectado. Hasta ahora se ha concedido más importancia a reaccionar ante fenómenos ya ocurridos que a prepararse para el futuro. Lo que debe hacerse es reducir en lo posible la vulnerabilidad socioecosistémica, lo que supone aumentar las capacidades de adaptación de los sistemas, incrementar su resiliencia e inclusive su transformación.

De manera paralela al cambio ambiental se produce también un cambio social global, el cual obedece a la propia dinámica interna del sistema mundial, cuya naturaleza exponencial alienta la expansión demográfica, los procesos de desarrollo económico y la tendencia hacia la globalización de la economía y de la tecnología, por medio de potentes redes de interdependencia (Colín, 2003) que conducirán como consecuencia a la degradación ambiental.

La degradación en sí se refiere a "cambios en la homeóstasis de un sistema", de tal modo que existe una reducción en su productividad. Por el lado "ambiental o del medio ambiente", se hace referencia no sólo a los elementos de la "naturaleza, el medio ambiente natural o el ecosistema", sino también a un medio producto de una compleja relación, a formas particulares de relación entre los elementos del soporte ofrecido por la naturaleza (tierra, agua, aire, etc.) y el ambiente construido socialmente en cada contexto cultural (Fernández, 1996).

El deterioro ambiental está directamente relacionado con la forma en que un país desarrolla sus actividades económicas y con los procedimientos que emplea para explotar sus recursos naturales, como indica la ecuación

$$I = PAT$$

donde el impacto ambiental (I) o degradación es causado por la combinación de una grande y creciente población humana (P), que aumenta continuamente el crecimiento económico o riqueza per cápita "afluencia" (A), y la aplicación de agotamiento de recursos y tecnología contaminante (T). Por lo tanto, podemos decir que la degradación ambiental va de la mano con

el aumento de población, el crecimiento económico y la tecnología (Zurrita *et al.*, 2015). Así cada sociedad está dispuesta a aceptar ciertos niveles de degradación por aumentos en los niveles de vida brindados por la tecnología y el crecimiento económico.

De acuerdo con los patrones históricos que determinaron la ubicación de la industria en los lugares donde se encontraba disponible la mano de obra necesaria y simultáneamente se encontraban los mercados para los productos industriales, las actividades industriales tendieron a concentrarse en las ciudades, preferentemente en las grandes.

Los efectos ambientales de dicha concentración se pusieron rápidamente de manifiesto: generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, con la consiguiente contaminación del suelo, el agua y aire; así como producción de daños o de amenazas de daños con motivo de la realización de actividades que pueden calificarse como de alto riesgo, y del manejo de materiales y residuos peligrosos. Las relaciones entre industria y ambiente han estado cambiando; sin embargo, subsisten en muchas partes, especialmente en los países en desarrollo, centros industriales que presentan los problemas clásicos de la contaminación industrial. A estos problemas de contaminación se agregan otros, como la presión sobre los recursos naturales (Zurrita *et al.*, 2015).

Por lo mencionado, se requiere que haya un manejo sustentable de los recursos para poder seguir disponiendo de ellos, y manejo sustentable se refiere al uso, desarrollo y protección de los recursos, tanto naturales como físicos, a una tasa que permite a las personas y comunidades proveerse de bienestar social, económico y cultural en beneficio de su salud y seguridad, mientras mantiene su potencial original a lo largo del tiempo. Es un concepto dinámico que parte de un sistema de valores emanado de los contextos social y ambiental imperantes. El manejo sustentable de los recursos naturales de un territorio permite su uso productivo de manera permanente, evitando con ello la reducción de su potencial productivo (Waikato, 2016).

El manejo sustentable debe combinarse con el crecimiento económico, con el fortalecimiento de la competitividad, con una mejor gestión de la naturaleza y con la biodiversidad. La idea básica es que el crecimiento económico es una condición necesaria para aumentar la protección y la renovación medioambiental. El crecimiento económico se considera vital para el desarrollo sustentable del mundo (Ramírez *et al.*, 2004).

“Los ecosistemas intervenidos por la gestión humana producen más de un bien requerido por las necesidades humanas que de los demás bienes

necesarios para el ecosistema, perdiendo diversidad y redundancia y elevando la vulnerabilidad de los ecosistemas”. Una mayor productividad en los sistemas naturales modificados y simplificados por la acción humana representan una biomasa muy elevada, particularmente en sistemas agrícolas y pecuarios, mientras que la diversidad es nula en dichos sistemas de producción (Olivera-Villarroel y Fuerte-Celis, 2016).

La financiación, transferencia de tecnología y cooperación entre los países en desarrollo e industrializados son factores fundamentales para lograr un manejo sustentable. En particular, hacer realidad las posibilidades de mitigación mundial también dependerá de la capacidad de los países en desarrollo para fabricar, difundir y mantener tecnologías que emitan poco carbono, lo que puede facilitarse mediante el comercio y transferencia de éstas. El desarrollo y las reducciones del costo de las estas tecnologías desempeñarán un papel importante en la mitigación global (Organización Mundial del Comercio, 2009).

Conclusiones

Este capítulo introduce la relación entre el hombre y la naturaleza a lo largo de la historia, con una perspectiva económica, desde el inicio del intercambio de bienes y servicios —el trueque— hasta que surgió la necesidad de desarrollar el concepto de dinero como parte del proceso de generar la institución que conocemos como mercado, todo ello enmarcado en la satisfacción de nuestras necesidades por medio de la explotación de los recursos naturales.

Esta explotación ha generado un impacto negativo en el ambiente, cuyos efectos se evidencian en la degradación del agua, el suelo y el aire, ocasionada por los desechos de nuestras formas de producción y consumo. La problemática planteada en este capítulo es una introducción a estas temáticas, por lo que se recomienda al lector profundizar su información al respecto.

Los procesos de desarrollo y organización de las sociedades son variables dinámicas y están condicionados por el contexto en el cual se ha desenvuelto cada sociedad humana, llevando el proceso de producción y consumo diferenciado, pero muy interrelacionado. En general el consumo que realizamos como sociedad tiene repercusiones para que nuestra organización económica —consumo y producción— y se mantenga viva gracias a las relaciones de intercambio que hacemos a diario con el mercado de manera automática.

Los momentos de crisis dentro de la producción han sido factores clave para mejorar nuestros modos de producir y la organización social para el manejo de recursos, es por esto que debemos entender a la economía y sus procesos sociales en un panorama general histórico, filosófico y funcional.

Podemos concluir que la economía del conocimiento y su entendimiento del ambiente en el que vivimos complementan los modos de producción en los que se han organizado nuestras sociedades. Crecer económica y socialmente puede ir de la mano con la conservación del ambiente, siempre y cuando entendamos nuestra función dentro del gran complejo que es el planeta Tierra, comprendamos las limitaciones que tenemos y manejemos adecuadamente las necesidades como sociedades humanas, con el fin de sobrellevar las crisis ambientales, sociales y económicas que la humanidad ha estado acarreado y cuyo ejemplo más tangible es el cambio climático y sus impactos dentro de todas las sociedades; cambio climático que no es más que la falta de entendimiento de los límites de contaminación del planeta.

Referencias

- Anderson (1979), *Transiciones de la antigüedad al feudalismo*. Disponible en <http://www.uned-historia.es/sites/default/files/Apuntes/Nacho%20Seixo%20-%20Perry%20Anderson%20y%20la%20g%C3%A9nesis%20del%20feudalismo.pdf>
- Aranzadi, J. (2004), "El mercado como institución social", Revista *Empresa y Humanismo*, vol. III, núm. 1/01, pp. 19-44.
- Asimov (1980). Disponible en http://www.facmed.unam.mx/deptos/familiar/compendio/Tercero/III_SM_238.pdf
- Caballero, Margarita *et al.* (2010), *Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra*, vol. 8, núm. 10, Instituto de Geofísica e Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 3-4.
- Casares Hontañón, Pedro *et al.* (2009), *Funcionamiento de los mercados*, Universidad de Cantabria, Departamento de Economía, p. 2.
- Colín O., Leticia (2003), "Deterioro ambiental vs. desarrollo económico y social", *Boletín IIE*. Disponible en <http://www.iie.org.mx/boletin032003/art2.pdf>

- Diamond, J. (2007), *Armas, gérmenes y acero*, Debolsillo.
- Diamond, J. (2013), *El mundo hasta ayer. ¿Qué podemos aprender de las sociedades tradicionales?*, México, Debate.
- Durkheim, Émile (1987), *La división social del trabajo*, Akal, Madrid.
- Engels, F. (2013), *El origen de la familia, la propiedad privada y el Estado*, México, Colofon.
- Favila Vázquez, Mariana (2016), *Veredas de mar y río. Navegación prehispánica y colonial en Los Tuxtlas, Veracruz*, UNAM. Disponible en http://www.posgrado.unam.mx/publicaciones/ant_col-posg/66_veredas.pdf
- Fernández, María Augusta (1996), *Ciudades en riesgo: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres*, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, p. 8.
- Filippini Silvina (2016), *Historia del dinero*. Disponible en <http://www.ecobachillerato.com/trabajosecono/historiadinero.pdf>
- Herrán, Claudia (2012), *El cambio climático y sus consecuencias para América Latina*, proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert/FES. Disponible en <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-energiayclima/09164.pdf>
- Jiménez Herrero, Luis M. (1996), *Desarrollo sostenible y economía ecológica. Integración medio ambiente-desarrollo y economía-ecología*, Madrid, Síntesis, p. 33.
- Machín, A. (2013), *Características y mecanismos del funcionamiento del rentismo* (en línea). Recuperado el 24 de marzo de 2015. Disponible en http://economicacritica.net/web/index.php?option=com_content&task=view&id=128&Itemid=39
- Olivera, M. y V. Flores (2014), *Valorando las características de los objetos. Lo hedónico del diseño y el consumo*, México, UAM-Cuajimalpa.
- Olivera, M. (2015), "Economía del conocimiento y sociedad de la información", México, UAM- Cuajimalpa.
- Organización Mundial del Comercio (2009), *El comercio y el cambio climático*, Publicaciones de la OMC, pp. 7-10.

- Olivera-Villarroel, Sazcha Marcelo y María del Pilar Fuerte-Celis (2016), *Fuego e inundaciones, paisajes culturales en las llanuras amazónicas*, en proceso de impresión.
- Oxford 2016. Disponible en <http://www.oxforddictionaries.com/es/definicion/espanol/sociedad>
- Proyecto 2061 (2016), *Sociedad humana*. Disponible en <http://www.project2061.org/esp/publications/bsl/online/ch7/ch7.htm>
- Ramírez et al. (2004), “El desarrollo sustentable: interpretación y análisis”, *Revista del Centro de Investigación*, Universidad La Salle, vol. 6, núm. 21, p. 58.
- Rusch, Verónica (2008), “Manejo sustentable: ¿Cómo llevarlo a la práctica?”, *Ecología forestal, manejo forestal sustentable, conservación y áreas protegidas*, núm. 52, p. 14.
- Salinas, Vicente (2010), “Nacimiento de la economía social: aparición de los mercados”, *Economía racional*. Recuperado de <http://economiaracional.blogspot.mx/2010/07/nacimiento-de-la-economia-social.html>
- Segob (2014), *Programa especial de cambio climático 2014-2018*. Disponible en http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014
- Simmel, G. (2013), *La filosofía del dinero*, Capitán Swing.
- Suárez Tamayo, Susana y Enrique Molina Esquivel (2014), “El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente”, *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), La Habana, Cuba, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM).
- Vélez, W. (2008), ¿Qué es la economía del conocimiento y cómo impacta a la universidad pública? Recuperado de <http://www.ses.unam.mx/curso2008/pdf/Ponencia-Waldemiro.Pdf>
- Vilaseca, Torrent Díaz (2002), *La economía del conocimiento: paradigma tecnológico y cambio estructural*. Recuperado de <http://www.uoc.edu/in3/dt/2007/index.html>

- Waikato (2016), Modificado de *Environmental Waikato Regional Council*. Disponible en <http://www.waikatoregion.govt.nz/Forms/Searches/GCS/?q=sustainable+management>
- Zalba, Raquel (2013), *Nuestros recursos son limitados. Consultoría y educación ambiental*. Disponible en <http://ceambientalblog.blogspot.mx/2013/11/nuestros-recursos-son-limitados.html>
- Zurrita, A. A. *et al.* (2015), "Factores causantes de degradación ambiental", *Daena: International Journal of Good Conscience*, 10(3), pp.1-9, diciembre.

Patrones de producción y de consumo. Aspectos económicos

Brenda García Parra

Producción y consumo: una dualidad determinante

La producción y el consumo conforman una dualidad de elementos dependientes entre sí, cuya dinámica y efectos resultan interesantes observar, particularmente cuando se pretende analizar o visualizar una posible continuidad a largo plazo.

Dicha dualidad puede observarse no sólo en los modelos económicos establecidos por el hombre, sino también desde su concepción original en la naturaleza, donde todo elemento químico y biológico es producido con el objetivo de consumirse para la obtención de algún proceso específico, como la producción de alimentos, de hormonas o de células; todo con un fin específico.

Sin embargo, en la naturaleza existen mecanismos de regulación para asegurar que el ritmo y la cantidad de lo producido puedan ser metabolizados apropiadamente y así asegurar una continuación a largo plazo; por esta razón, es posible que se esté hablando de millones de años, al referirse a la existencia del planeta Tierra y sus ecosistemas, por ejemplo.

En el caso de la dinámica de producción y de consumo que el hombre ha definido por medio de la manufactura de bienes y servicios, se observan efectos diferentes y ocasionalmente contrarios a los que suceden en la naturaleza, a falta de los mecanismos de regulación que ésta utiliza, lo que genera graves desequilibrios.

Es decir, si bien la base de todo producto y servicio producido y consumido por el hombre proviene de recursos generados por la naturaleza, la forma en que se han establecido y vinculado aspectos económicos y sociales alrededor de su producción y consumo ha generado patrones que actualmente representen un gran reto de supervivencia y bienestar para los próximos años.

Desde la misma concepción de un producto propuesto por parte de un individuo o empresa, por ejemplo, quedan establecidas diversas condiciones que dan forma y dirección a los patrones de producción y consumo: ¿Quiénes y cuántos consumidores buscarán el producto? ¿Qué materia prima se necesitará para su producción? ¿Cuál será el ritmo y tipo de manufactura? ¿Cuál será la demanda de lo producido y durante cuánto tiempo?

Y como se trata de una dualidad, las preguntas y respuestas que se generan por parte del consumidor también alimentan, definen o modifican aquellas propuestas que se dan por el lado de la producción.

Actualmente las respuestas a estas preguntas permiten señalar que, de manera generalizada, el ritmo de producción y consumo es de tal aceleración que se han generado un sinnúmero de desequilibrios ambientales, económicos y sociales, por lo que el alcance de una sustentabilidad requerirá de un cambio de perspectiva total, tanto por parte del productor como del consumidor, para redirigir el mecanismo completo del sistema, comenzando con un replanteamiento de las necesidades reales por cubrir, por ejemplo.

“El modelo de sustentabilidad es el más razonable, pero el control del consumo que requiere su instrumentación constituye un abierto desafío al modelo de expansión”. (Margolin, 2005).

En este sentido, cuando la adquisición de un bien o servicio no parte de una necesidad identificada o justificada y su ritmo es acelerado, se produce lo que se conoce como *consumismo*, cuyas causas también se relacionan con una desinformación y/o un desinterés por conocer los atributos del elemento a comprar, su origen, las implicaciones técnicas, sociales y económicas relacionadas con su producción, distribución y afectación en el medio al ser desechado, entre otros. Otro factor que fomenta el consumismo es el bajo costo en la adquisición final por parte del consumidor (aun cuando el costo ambiental y social de su producción y venta haya sido alto).

Reflexión

La próxima vez que realices la compra de un producto, analiza la verdadera necesidad a cubrir, la materia prima que habrá requerido su producción, si es un producto local o si requirió de varios miles de kilómetros para su distribución y venta, la frecuencia de su compra o uso, y la forma en que probablemente se desechará.

Proceso de Marruecos

A partir del llamado atención que impulsó la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en Cumbre de la Tierra de 1992, en Río de Janeiro, con el objetivo de denunciar los diferentes problemas ambientales y de desarrollo en el ámbito mundial, surgieron una serie de propuestas y protocolos de numerosas iniciativas; de manera particular se mencionó la necesidad de desarrollar una estrategia dirigida a promover patrones de Consumo y Producción Sustentables (CPS), que fue analizada y desarrollada de manera específica en Marruecos en 2002.

Derivada de esta estrategia, en 2003 se estableció el denominado Proceso de Marruecos, diseñado para acelerar la adopción de modelos de consumo y producción sustentables por los países miembros de la ONU, mediante una serie de objetivos, entre los cuales destacan:

- a. Organizar consultorías regionales para identificar prioridades y necesidades para el CPS
- b. Ayudar a construir programas y mecanismos de implementación mediante instituciones regionales
- c. Poner en marcha proyectos y programas concretos en los ámbitos regional, local y nacional, para desarrollar y mejorar herramientas y metodologías de CPS.

Con el fin de alcanzar dichos objetivos, en el Proceso de Marruecos se establecieron siete líneas de acción (*Task forces*), por medio de las cuales pueden evidenciarse las “rutas” o principales espacios en los que se enmarcan dichos objetivos, éstos son:

1. Cooperación con África
2. Productos sustentables
3. Estilos de vida sustentable
4. Edificios y construcción sustentables
5. Turismo sustentable
6. Educación para el consumo sustentable
7. Compras públicas

Cabe destacar que dichas líneas de acción se agrupan a su vez en ámbitos específicos que trazan el enfoque desde el cual operan, como son: el sectorial y el regional, el comportamiento social, y programas y otras herramientas políticas. (UNEP, 2011)

La puesta en marcha del Proceso de Marruecos desde 2003 logró la identificación de las principales necesidades globales y locales; se realizaron diferentes estrategias regionales, y se desarrollaron 33 proyectos a escala mundial. Sin embargo, durante la conferencia Río + 20¹ se reafirmó la necesidad de acelerar y reforzar aún más las acciones realizadas, para continuar construyendo sobre el existente Proceso de Marruecos y lograr la adopción de un marco de acción a largo plazo.

De esta forma, se propuso la creación del documento llamado 10YFP,² para trazar un plan de acción a 10 años en el que, mediante una serie de programas diseñados, se pudieran coordinar de manera estratégica todas las actividades, sectores y participantes involucrados hacia la adopción de patrones de Consumo y Producción Sustentable, lo cual incluyó también el establecimiento de mecanismos específicos de cooperación (técnicos y económicos) para su implantación en los países en vías de desarrollo y desarrollados.

El aspecto que destaca de dicho documento es la posibilidad de ser creado a partir de la participación de quien esté interesado en aportar ideas, lo que resultó en un borrador elaborado mediante un proceso abierto y continuo, que fue incorporado en el documento final de Río + 20, denominado “El futuro que queremos”.

Los cinco programas diseñados para la puesta en marcha de este plan de acción de cooperación internacional incluyen: la información al consumidor, los estilos de vida sustentables, la educación, las compras públicas sustentables, la edificación y construcción sustentables, y el turismo sustentable.

Como puede observarse, los programas parten de las originales “7 líneas de acción”, sin embargo se incorpora el grupo sobre Información al consumidor, y se establece un mecanismo para la creación de programas adicionales según las prioridades y necesidades de cada país.

Cabe destacar que la importancia de revisar las anteriores propuestas, realizadas por parte de las Naciones Unidas, se centra en analizar las definiciones y valores a partir de los cuales se delinearon estrategias como el 10YFP, pues siendo directrices operativas a escala mundial, se debe contar con un

1. Conferencia de las Naciones Unidas celebrada en Río de Janeiro 20 años después de la primera, conocida como Cumbre de Río o Cumbre de la Tierra, en 1992.

2. *10-Years Framework of programmes on SCP* (Marco Decenal de Programas sobre Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, por sus siglas en inglés).

consenso relativamente generalizado y aceptado para poder llevar a cabo la puesta en marcha de diferentes planes de acción que puedan adoptarse –y comprenderse en el mismo sentido– en los ámbitos global, local y regional.

Así, las Naciones Unidas, mediante el Programa de Trabajo Internacional de la Comisión sobre Desarrollo Sustentable, en 1995 estableció que:

[...] el Consumo y Producción Sustentable es el uso de servicios y productos relacionados, que responden a necesidades básicas y ofrecen una mejor calidad de vida, al mismo tiempo que se minimiza el uso de recursos naturales y materiales tóxicos, así como las emisiones de desechos y contaminantes a lo largo del ciclo de vida, de forma que no resulte un riesgo para cubrir las necesidades de las generaciones futuras [UN-DESA y UNEP, 2009].

El enunciado anterior parte de la definición original de Desarrollo Sustentable publicada en el Reporte Nuestro Futuro Común³ de 1987, en el que se subraya la importancia de cubrir las necesidades básicas sin afectar a las generaciones futuras.

Sin embargo, son dos aspectos de estas definiciones los que resultan esenciales para comprender y garantizar la viabilidad de estrategias hacia la adopción de patrones de consumo y producción sustentables, y que permitan vislumbrar los factores que deberán ser considerados constantemente.

El primer aspecto se relaciona con las decisiones que tome tanto el consumidor como el productor, es decir, el llamado hacia “el uso de servicios y productos relacionados que respondan a necesidades básicas, y que ofrezcan una mejor calidad de vida”, parece indicar la responsabilidad del consumidor para decidir qué tipo de servicios y productos seleccionar, basado en el requisito de que cubran necesidades básicas y fomenten una mejor calidad de vida. Lo anterior aplica de la misma manera para el productor, de manera que éste ofrezca servicios y productos que cumplan con esas mismas directrices (además de minimizar los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida).

La forma en que el productor pueda minimizar los impactos ambientales, y usar de manera eficiente los recursos naturales, puede ser relativamente controlada por medio de diversas estrategias que se relacionan con la práctica del Ecodiseño, Producción Limpia, entre otros. Sin embargo, y de forma relacionada con el segundo aspecto, se hace evidente la posibilidad

³ También conocido como Informe Brundtland.

de que las características con las cuales el consumidor y el productor toman sus decisiones resulten ambiguas, subjetivas o relativas de acuerdo con los diferentes contextos. Es decir, será muy particular el significado que “necesidades básicas” o “mejor calidad de vida” tengan para cada individuo, derivando en posibles resultados divergentes de lo que productor y consumidor visualicen como consumo y/o producción sustentables.

Es posible observar cómo el Proceso de Marruecos presenta una estrategia sistémica que incluye no sólo los aspectos ambientales de la dualidad producción-consumo, sino que indica también los parámetros de tipo social que deberían fomentarse. Sin embargo, la dificultad de implantar y obtener resultados “exitosos” de sustentabilidad derivados del Proceso de Marruecos resulta evidente, empezando por el gran reto que resulta definir el “éxito” de un modelo de desarrollo en términos de calidad de vida y necesidades básicas.

Por otra parte, y continuando con el análisis de iniciativas existentes que abogan por definir patrones de Producción y Consumo Sustentables, se encuentra la Política Integrada de Producto (IPP), desarrollada por la Unión Europea para integrar una serie de elementos que tienen como objetivo fortalecer y guiar patrones de consumo y producción, enfocadas de manera particular en el producto, como resultado de tales actividades. Sin embargo, y en contraste con el Proceso de Marruecos, el IPP se centra principalmente en el aspecto ambiental (o ecológico) de la sustentabilidad, definiendo parámetros y mecanismos de implantación.

Dentro de dichos mecanismos se encuentra la instauración del ecodiseño para el desarrollo de productos que disminuyan sistemáticamente los impactos ambientales, las normativas relacionadas con las declaraciones ambientales (ecoetiquetado), la responsabilidad del productor, las directrices para el análisis del ciclo de vida, entre otros.

Como puede observarse, se establece poco “peso” al papel que desempeñan los consumidores, lo cual implica incluir aspectos que se relacionan más con factores sociales. Así, el IPP, como parte de esta categoría de políticas de producto, logra cierto resultado comprobable y objetivo en el aspecto ambiental, pero la falta de consideración de aspectos sociales, como lo hace el Proceso de Marruecos, deja ver cierta limitación en los resultados de su implantación. Por ejemplo, Zaccarà (2006) indica que: “Para la Comisión, el IPP debería contemplar a los productos de una forma holística, involucrar la mayor cantidad de actores posibles y establecer la responsabilidad de las decisiones que toman” (p. 58).

Si bien el análisis del ciclo de vida de productos, elemento vital en el IPP, ofrece información primordial sobre las fases del ciclo donde se genera mayor impacto ambiental y las mejoras que pueden obtenerse, el aspecto crucial radica en la relación de estos problemas ambientales (“controlados” y modificables por el productor) con el consumidor (donde aspectos de tipo social comienzan a desempeñar un importante papel). Es decir, aun cuando se pudiera detectar y reducir un impacto ambiental durante la fase de uso de un producto, se cuestiona en qué medida se pueden realmente atribuir los impactos al consumidor. “El ACV, como método para analizar los impactos ambientales de productos, muestra la dificultad para definir el rol de los consumidores en este proceso” (Zaccaï, 2006).

Lo anterior resulta esencial para visualizar que aunque se determine una serie de lineamientos que dirijan prácticas productivas y se pre-establezca el papel del consumidor, la última palabra sobre la decisión de compra y uso radica en el consumidor.

A partir de lo anterior, podría concluirse que la ambigüedad del establecimiento de los criterios relacionados con los aspectos sociales del desarrollo sustentable (definición de un estándar sobre “calidad de vida” y “necesidades básicas”) es precisamente lo que de alguna manera ubica a todas las iniciativas y prácticas disciplinares a un nivel abierto a la interpretación y de carácter voluntario. Es decir, ¿cómo se podrían regular, prohibir o condicionar propuestas (de bienes y servicios) que no ofrezcan una mejor calidad de vida? ¿Con base en qué estándar y en qué contexto?

Reflexión para el debate

¿Qué bien o servicio puede identificarse como aquél que brinde o mejore una calidad de vida?

¿Cuáles serían aquellos productos que cubren “necesidades básicas”?

¿Debería haber alguna restricción para la producción y consumo de bienes y servicios que no cubran necesidades básicas o “reales”, o que fomenten el consumismo a nivel global?

El papel del consumidor

Hoy en día el consumidor representa un factor de gran influencia para redirigir patrones, dinámicas, tendencias y políticas de producción. Sin embargo,

lograr que el consumidor esté informado y alerta requiere de gran esfuerzo, un camino que generalmente resulta sinuoso pues comúnmente el consumidor se encontrará con información limitada, sesgada o modificada que influya en su importante decisión, que moldea finalmente los patrones de consumo y con ellos los de producción.

Sin embargo, la información no es el único factor que influye en el consumidor, diversos aspectos culturales desempeñan un importante papel que por lo regular no se tiene en cuenta.

La aproximación hacia los patrones de consumo sustentables no es cuestión de falta de conocimiento, sino de la forma en que la información existente se procesa, influenciada por el contexto. Cohen y Murphy (2001), quienes realizaron una investigación sobre diferentes aspectos de las políticas relacionadas con el consumo sustentable, mencionan que: “[...] el consumo incluye algunos aspectos culturales fundamentales, los cuales son frecuentemente subestimados a través de la economía o análisis de impactos ambientales” (p. 4).

Por otro lado, también es importante analizar y, en dado caso, cuestionar, los actuales modelos y mecanismos de información con los que cuenta el consumidor para decidir sobre el consumo de bienes publicitados, a veces autodenominados “sustentables”, así como su contexto.

Se habla mucho acerca de la práctica de publicitar bienes o servicios con la característica de ser “sustentables”, pero no se ofrece mayor información al respecto; no se tienen certificados oficiales o los datos son manipulados para redirigir la atención del consumidor de manera que el hecho se vea sin fundamento; esto se conoce como “*Greenwash*”.

De acuerdo con un estudio realizado por Carmen Tanner sobre la dificultad del consumidor para evaluar qué tan “amigable con el medio ambiente” es un producto, es posible concluir que las preferencias y juicios del consumidor se encuentran totalmente dependientes de un contexto y son inestables, y que éste podría conscientemente decir que un producto es “ecológico” (o viceversa) sin serlo, aun cuando tenga la información suficiente para expresar de manera correcta su decisión (Loerincik *et al.*, 2005).

En este sentido, Edwin Zaccarí (2006) argumenta que para lograr lo anterior es importante identificar la forma como se encuentran fragmentados los consumidores (tal como se realiza en mercadotecnia desde hace mucho tiempo), pero desde percepciones y comportamientos relacionados con los aspectos de sustentabilidad. Por ejemplo, se diferencia al consumidor que

tiene una actitud anticonsumista del que es “ambientalmente amigable”, el primero basado en un aspecto de frustración y el segundo en altruismo.

Por otro lado, Dobré indica que aun cuando exista un interés por parte del consumidor por consumir bienes que realmente cuentan con menor impacto ambiental y social, al final el total de bienes consumidos se relaciona con el ingreso económico. “La distribución de un presupuesto varía respecto a una posición social, pero, dejando de lado los gastos alimenticios, también es cierto que entre mayor sea el ingreso disponible, mayor será el consumo” (Dobré, 2002: 262).

Reflexión para el debate

Podría concluirse con los siguientes interrogantes: ¿Qué bienes o servicios es posible identificar, que se autodenominen “sustentables” pero cuya información sea dudosa o limitada? ¿Podría ser que la adquisición de bienes y productos “sustentables” dependa de la posición económica del consumidor?

Referencias

- Cohen, M. y J. Murphy (2001), *Exploring sustainable consumption. Environmental policy and the social sciences*, Amsterdam Londres, Pergamon
- Garrette, C. y J. Kosoris (2009), “Design for sustainability: Current trends in sustainable product design and development”, *Sustainability*, 1, pp. 409-424.
- Loerincik, Y., J. Kaenzig y O. Jolliet (2005), “Life cycle approaches for sustainable consumption”, *International Journal of LCA*, 10.
- Madge, P. (1997), “Ecological design: A new critique”, *Design Issues*, 13, pp. 44-54.
- Margolin, V. (2005), “Expansión o sustentabilidad: dos modelos de desarrollo”, *Las políticas de lo artificial*, México, Designio,
- Oosterhuis, F., F. Rubik y G. Scholl (1996), *Product policy in Europe: New environmental perspectives*, Kluwer Academic Publishers.

Schäfer, M., M. Jaeger-Erben y A. dos Santos (2011), "Leapfrogging to sustainable consumption? An explorative survey of consumption habits and orientations in southern Brazil", *Journal of Consumer Policy*, 34, pp. 175-196.

UNDESA y UNEP (2009), *Proposed input to CSD 18 and 19 on a 10 Year framework of programmes on sustainable consumption and production*. Recuperado de http://esa.un.org/marrakechprocess/pdf/Draft3_10yfp-niputtoCSD2Sep09.pdf

UNEP (2011), *El marco decenal de programas sobre consumo y producción sostenibles (10YFP)*. Recuperado de http://www.unep.org.resourceefficiency/portals/24147/sep/10yfp/document/brochure_10yfp_sp.pdf

WCED (1987), *Report of the World Commission on Environment and Development: Our common future*. Recuperado de <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>

Zaccai, Edwin (2006), "Assesing the role of consumers in sustainable product policies", *Environ Dev Sustain*, 10, pp. 51-67.

Temas
contemporáneos
transversales

Indicadores de sustentabilidad

Flor Yunuén García Becerra

Introducción: importancia de los indicadores de sustentabilidad para el desarrollo sustentable

Los actuales modelos económico y de producción nos están llevando hacia el límite de los recursos naturales y ecosistemas y de desigualdad social. Teniendo en cuenta el consumo promedio de 2012, se ha estimado que para el 2030 la demanda global de alimentos habrá aumentado 50%, la de energía 45% y la de agua 30%. Al mismo tiempo, no es claro cómo se cubrirán estas necesidades de manera equitativa entre toda la humanidad, de tal modo que el Panel de Alto Nivel sobre Sostenibilidad Global (PANSG) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha llamado a un cambio de patrones de consumo y de rumbo de la economía, hacia un desarrollo sustentable. Desde las tres dimensiones consideradas en la sustentabilidad, las *economías* están frágiles, la desigualdad dentro y entre *sociedades* está creciendo y la degradación de los *ecosistemas* del planeta sigue en aumento (PANSG, 2012), por lo que el cambio requerido es hacia una gestión sustentable de nuestros recursos económicos, sociales (humanos) y naturales.

De este modo, la gestión sustentable es un ejercicio altamente complejo que va más allá de la administración eficiente sobre la cantidad y calidad de los recursos que explotamos y conservamos. La gestión sustentable incluye diversos puntos de vista, desde una perspectiva ética sobre cómo debemos desarrollarnos, la consideración de los procesos sociales acelerados por la globalización y el crecimiento poblacional, hasta los propósitos de satisfacción de las necesidades de todos los humanos a largo plazo. Actualmente existen herramientas en economía, administración e ingeniería que nos ayudan a gestionar múltiples recursos a lo largo del tiempo. No obstante, la complejidad de la sustentabilidad es saber cómo podemos identificar, incorporar y evaluar aquellos atributos que nos correlacionen de manera

simultánea con: a) el crecimiento económico, b) el desarrollo social de la comunidad, y c) la preservación y protección de nuestro medio ambiente.

En este escenario, la gestión sustentable requiere de permanente creatividad sistémica, ya que se trata de la administración a largo plazo de recursos altamente complejos, como son los ecosistemas, las sociedades y las economías interconectadas y globalizadas. Se trabaja sobre parámetros con altos niveles de incertidumbre y conflicto, tanto en los patrones de relación de las sociedades como en los intercambios culturales entre las mismas, así como sobre la adecuación y acomodo de las especies frente a una ofensiva del medio por desplazarlas de sus hábitats. Más aún, la creatividad es necesaria porque la gestión sustentable es una disciplina cuyos alcances aún no están del todo establecidos, ni como campo de estudio (en las universidades y centros de investigación) ni como actividad profesional en la industria. Esto es en parte resultado del modelo educativo tradicional monotemático, ya que es necesaria la construcción del conocimiento y el desarrollo de la gestión sustentable desde la transdisciplinariedad y la interdisciplinariedad, es decir mediante un modelo educativo como el de la UAM-C.

Hoy en día los administradores “sustentables” tienden a enfocarse inicialmente en la administración de recursos naturales, sin embargo pronto se ven en la necesidad de incluir otros recursos y metodologías interdisciplinarias. Cuando los especialistas tradicionales (monotemáticos) son llamados a enfrentar una situación de problemática ambiental, eventualmente llegan al punto donde es necesario ejecutar decisiones que van más allá de la administración de los recursos naturales y requieren tomar decisiones de planeación a largo plazo sobre los propósitos sociales de conservar la naturaleza y de satisfacer las necesidades urgentes de poblaciones empobrecidas. En general llegan a estructurar planes y programas para la toma de decisiones que requieren de un proceso participativo, interinstitucional e interdisciplinario a fin de ofrecer espacios a los diferentes grupos de interés, o por su denominación en inglés: *stakeholders* (afectados o interesados) y *stewards* (cuidadores o administradores); por ejemplo: las instituciones, los gremios de la producción u operarios, las universidades, las asociaciones civiles, los consumidores, la comunidad en general, etcétera).

Se ha visto que para lograr un desarrollo sustentable es necesario establecer varios instrumentos de planeación y gestión del desarrollo. Algunos ejemplos de los que se han utilizado son: planes de desarrollo, planes de ordenamiento territorial, planes periódicos de acción (semestrales, anuales, etc.), los cuales incorporan políticas nacionales o corporativas, políticas departamentales y compromisos adquiridos por los mandatarios locales o bien por empresarios en sus programas a corto y mediano plazos. Dichas políti-

cas, planes, programas y proyectos deben llevar *indicadores de sustentabilidad* (IS) con el fin de medir su grado de eficiencia en su implantación y, a su vez, reflejar el grado de aceptación en sus miembros y las expectativas de la comunidad/ empresa a lo largo del tiempo.

Los IS son indispensables en la gestión y el desarrollo sustentable. La gestión sustentable requiere y genera, mediante indicadores, datos con mediciones coherentes e información oportuna, precisa y confiable sobre el desarrollo sostenible de una región, comunidad o empresa, para después poderlos integrar a los núcleos básicos del desarrollo sustentable (económico, social, tecnológico e institucional o empresarial) y poner en marcha acciones para incrementar su grado de sustentabilidad. Así, los IS dan pie al desarrollo de sistemas de información que se utilizan para la toma de decisiones; a la vez que son una herramienta importante para la transmisión de información científica y técnica, tal como se precisó en la XIV Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, realizada en ciudad de Panamá.

Como en el caso de la gestión sustentable, los IS son un tema emergente en la academia y en la industrial, por lo que es necesario seguir avanzando en la consolidación de indicadores que favorezcan el crecimiento de nuestra sociedad, aminorando las externalidades de nuestros modelos actuales económico y de producción.

Indicadores de la sustentabilidad

Antecedentes de los indicadores sustentables

Los IS tuvieron sus inicios, como indicadores ambientales (IA), a finales del siglo pasado; desde entonces han seguido siendo desarrollados a escala mundial: a partir de 1987, en las políticas ambientales de Canadá y Holanda; luego, en 1989, se retoman en la Cumbre del Grupo de los 7, donde se pide a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) desarrollarlos. En 1992 se promueve internacionalmente su desarrollo en la Conferencia de la ONU sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Pero no adquieren mayor formalidad hasta transformarse en aspectos normativos tanto para los gobiernos como para la industria.

En 1993, durante una reunión consultiva de expertos en el tema de indicadores y sustentabilidad, en la que se discutieron los avances en diferentes organismos de la ONU, se conformó el subcomité 4 del Comité Técnico 207 de la Organización Internacional de Estándares (ISO TC 207, por sus siglas

en inglés). Es entonces cuando el ISO TC 207 recogió diferentes iniciativas y desarrolló el concepto de Evaluación del Desempeño Ambiental (Environmental Performance Evaluation, EPE).

Mundialmente se ha llevado a cabo un importante número de esfuerzos e investigaciones para la elaboración de indicadores desde la industria. Estas iniciativas han sido realizadas por organizaciones como CERES, Global Reporting Initiative (GRI), World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), International Institute for Sustainable Development (IISD) y National Round Table on the Environmental and the Economy (NRTEE). En América Latina, los países que lideran la elaboración de IA son México, Chile, Colombia y Costa Rica, aunque sus desarrollos son escasos.

¿Que son los indicadores?

Un indicador es un procedimiento o cálculo que permite cuantificar una dimensión conceptual o un parámetro. Cuando se aplica este procedimiento, se produce un número, una cifra con unidades, una proporción normalizada o un porcentaje, que son empleados para comparar desempeños entre periodos temporales o algún otro entorno. Los distintos valores de indicadores pueden figurar en una escala lineal o no lineal, en la que los problemas extremos o las mayores desviaciones del nivel deseado son más ponderados que los menores. Los indicadores también se pueden expresar en representaciones gráficas e incluso en códigos cromáticos.

El objetivo del indicador es notificar si nos acercamos o nos alejamos del lugar a donde queremos llegar. De este modo, un indicador ayuda a cuantificar y a comprender dónde se encuentra el parámetro, que es medido en un contexto definido. También indica en qué dirección se dirige dicho parámetro y lo lejos o cerca que se está del punto destino; es decir, en términos vectoriales, un buen indicador señala la existencia de un problema antes de que sea demasiado tarde, y ayuda a discernir la mejor opción para solucionarlo.

Los indicadores tradicionales, tales como las ganancias de los accionistas, las tasas de contagio de influenza, y la calidad del aire, miden sus cambios en una parte de una comunidad o empresa como si fueran totalmente independientes de las otras partes. Por ejemplo, un indicador de contaminación puede carecer de importancia en concentraciones débiles, pero puede alcanzar un alto grado de importancia en la medida en que niveles medianos afecten la calidad de vida, y más tarde aumentar repentinamente cuando la concentración de los contaminantes sea fuerte y afecte la salud. Otro ejemplo sería, en el caso de los recursos naturales: la disminución del primer 5%

de un recurso puede tener poca importancia, pero tal vez el agotamiento del último 5% tenga grandes repercusiones. Es posible que exista un nivel de indicador óptimo cuyas desviaciones en ambas direcciones sean cada vez más perjudiciales.

A diferencia de los indicadores tradicionales económicos, sociales y ambientales, los IS reflejan la realidad de que las tres dimensiones dentro de la sustentabilidad (economía, sociedad y medio ambiente) están estrechamente interconectadas. En concreto, los IS ayudan mostrar las áreas donde los vínculos entre la economía, el medio ambiente y la sociedad están débiles. Mediante los IS debería de ser posible ubicar las tendencias de sustentabilidad en dirección positiva y las tendencias en dirección negativa sobre una línea prefijada. La amplitud de los vectores sería definida por una ponderación que se estableciera democráticamente.

Para expresar mejor la sustentabilidad se necesita de IS vectoriales que indiquen la dirección y la velocidad del movimiento hacia la meta o desde la meta. Ello permite definir cómo se imagina la futura ciudad o empresa sustentable ideal e informar a los *stakeholders* y/o los *stewards* respecto a cada uno de los indicadores: si están avanzando hacia su propia meta y a qué ritmo. Por ejemplo, una ciudad podría definir su población óptima, calcular la curva de crecimiento necesaria para estabilizar los valores a un nivel dado y después medir la desviación de la curva de su población actual de la necesaria para alcanzar su ideal. De esta manera, las autoridades responsables verían de inmediato si la tendencia es la correcta y cuánto demoraría en alcanzar los resultados esperados.

Elaboración y uso de indicadores de sustentabilidad.

La industria manufacturera como caso de estudio

Elaboración de indicadores de sustentabilidad

La elaboración de IS necesita tener en cuenta el objetivo sustentable que se quiere alcanzar. Para ilustrar la elaboración de dichos indicadores se utilizará la industria manufacturera, pues algunas empresas manufactureras han desarrollado el objetivo de “eficiencia”. La eficiencia une el concepto de negocios de la creación valor con el concepto de impacto ambiental, y consiste en esforzarse por crear más valor con menos impacto. Permite a la empresa enfocarse en hacer los procesos de producción más eficientes y en crear mejores productos y servicios, y de manera simultánea, en reducir el uso de recursos, residuos y contaminación a lo largo de toda la cadena de valor.

Dado que los IS necesitan de la captura de datos y de la generación de información práctica, dichos indicadores se diseñan para que sean:

- Sencillos, porque no requieren grandes cantidades de tiempo o mano de obra para desarrollarse.
- Útiles, para la toma de decisiones, y relevantes, para los negocios.
- Comprensibles para un público variado, desde operarios y personas de mantenimiento, hasta gerentes, planeadores, economistas y analistas financieros.
- Rentables en términos de recolección de datos.
- Reproducibles, mediante la incorporación de estándares para producir resultados consistentes y comparables.
- Robustos y veraces, para que indiquen el progreso hacia la sustentabilidad cuando de hecho se ha mejorado.
- Apilables a lo largo de la cadena de suministro, para que tengan utilidad más allá del proceso para el cual se realizó el cálculo.
- Protectores de la propiedad intelectual, para prevenir el cálculo retrospectivo de la información confidencial.

Una vez considerado el objetivo de los IS junto con las características arriba descritas, en la manufactura de productos se consideran cinco indicadores básicos (cuadro 1).

CUADRO 1. INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD CLAVES
PARA LA MANUFACTURA ECOEFICIENTE (J. SCHWARZ *ET AL.*, 2002).

Indicadores de ecoeficiencia	Significado	Unidades
Uso intensivo de materias primas	Cantidad de materia prima que no fue convertida en producto deseable por unidad de producto	kg/\$ (valor agregado o ganancias) o kg/# de unidades de producto
Uso intensivo de energía	Cantidad de energía (combustibles y electricidad) usada por unidad de producto	kJ/\$ (valor agregado o ganancias) o kJ/# de unidades de producto
Consumo de agua	Cantidad de agua usada por unidad de producto (no incluye agua de lluvia)	L/\$ (valor agregado o ganancias) o L/# de unidades de producto
Emisiones tóxicas	Cantidad de emisiones tóxicas por unidad de producto	kg/\$ (valor agregado o ganancias) o kg/# de unidades de producto
Emisiones de contaminantes	Cantidad de contaminantes emitidos por unidad de producto	kg/\$ (valor agregado o ganancias) o kg/# de unidades de producto

Cada IS se construye como una proporción; en el numerador se incluye un impacto, ya sea el consumo de recursos o las emisiones contaminantes, y en el denominador una representación de la producción, en términos físicos (unidad de producto) o financieros (valor agregado, ganancias). Para el cálculo de los IS, todos los numeradores y denominadores de impacto de salida se normalizaron a un kilo de producto. Expresando las métricas normalizadas, protege información privada de la empresa y ofrece una manera de relacionar los desempeños ambientales y económicos.

El uso de estas proporciones como IS sigue la regla simple: *que cuanto menor es la métrica más eficaz será el proceso*. Un valor bajo indica mayor beneficio, que el impacto del proceso es menor (el numerador es más pequeño) o que la salida del proceso es mayor (el denominador es mayor). La regla de que menos es mejor se puede utilizar para evaluar el rendimiento relativo de los procesos de fabricación en términos de impacto por unidad de producto.

Las mediciones relacionadas con el desempeño social también se pueden incorporar mediante estas proporciones. Actualmente se están realizando esfuerzos para desarrollar denominadores que capturen importantes indicadores de beneficio social, aunque éstos tiendan a ser más dinámicos, dependientes del lugar y del tiempo.

Los IS tienen sus orígenes en indicadores ambientales que han sido complementados con información económica y social. En esta sección nos enfocaremos a IS específicos de una manufactura ecoeficiente, aunque existe gran variedad de otro tipo de indicadores. Como se vio, los indicadores necesitan tener componentes ambientales, sociales y económicos, de tal forma que los IS combinen indicadores biofísicos, sociales y económicos. El cuadro 2 cita ejemplos de estos componentes.

CUADRO 2. COMPONENTES DE INDICADORES SUSTENTABLES
(OECD, ENVIRONMENT DIRECTORATE, 2008)

Componentes (indicadores) biofísicos	Componentes (indicadores) social y económico
<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de CO₂, NO_x, SO_x, gases de efecto invernadero, etcétera • Uso y calidad de recursos hídricos • Generación y tratamiento de aguas residuales (municipales o industriales) • Generación y tratamiento de residuos (municipales o industriales) • Cambios en el uso del suelo • Uso de fertilizantes nitrogenados • Uso de recursos forestales • Comercio de madera tropical • Especies amenazadas • Volúmenes de pesca • Accidentes industriales • Áreas protegidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento poblacional • Crecimiento de la actividad económica • Tendencias del transporte • Energía disponible • Intensidad de energía • Consumo privado de combustible • Producción industrial • Opinión pública

Uso de indicadores de sustentabilidad

Una vez que una empresa ha construido IS para sus procesos, las mediciones se pueden utilizar de numerosas maneras para orientar las mejoras en operaciones, procesos y políticas hacia un rumbo más sustentable. Los IS se pueden utilizar para evaluar la sustentabilidad en rendimientos operativos, procesos y flujos de trabajo o cadenas de suministro, así como también en el progreso en políticas o campañas de sustentabilidad. Dichos indicadores también se pueden acoplar a otras herramientas de documentación, control de calidad, mercadotecnia y divulgación, satisfacción al cliente/ciudadano/usuario, etcétera.

Evaluación de rendimiento

Al comparar los IS de diferentes operaciones dentro de un mismo proceso, los administradores, gerentes o políticos pueden determinar dónde se encuentran las mayores oportunidades de mejora en sus operaciones actuales. Más allá del proceso, se pueden establecer valores de referencias en los diferentes IS para un tipo de industria o de producto. De esta forma los IS también son útiles para medir el rendimiento de una empresa u organización en un tipo de industria o servicio en particular.

Evaluación de los procesos

Los IS pueden ser una herramienta de apoyo para tomar decisiones útiles durante la evaluación de procesos alternativos tanto administrativos como de producción. Se pueden hacer proyecciones sobre el efecto de un nuevo proceso y calcular los IS para cada paso o nueva operación, de tal modo que los nuevos IS calculados puedan revelar los impactos que podrían aumentar, si pueden ser reducidos, o cuáles pueden presentar un mayor riesgo; así los índices proporcionan un medio simple para identificar problemas en forma temprana. Además, comparar las métricas de varios procesos sirve para destacar aquellas áreas que pueden suponer un riesgo o una oportunidad.

Evaluación de la cadena de suministro

Una característica importante de los indicadores es que se pueden sumar, es decir se pueden combinar (o apilar) para calcular el impacto medioambiental, financiero o social mediante la serie de procesos que comprenden una cadena de suministro. Expresando los IS como cifras con unidades que se pueden sumar, mejora su versatilidad y utilidad como herramientas para la toma de decisiones. La sumatoria de índices puede ser utilizada para evaluar la totalidad de las cadenas de suministro, así como procesos largos específicos, que después pueden ser comparados y evaluados. Además, una vez que se ha determinado el valor del índice correspondiente a toda la cadena de suministro (a partir de las mediciones individuales), los procesos dentro de la cadena que tienen mayor impacto ambiental pueden ser identificados. Esto permite a las empresas y organizaciones seleccionar áreas objetivo de mejora dentro de sus propias instalaciones, o tomar decisiones más informadas respecto a la elección de proveedores o prestadores de servicios.

Integración con otras herramientas

Los indicadores proporcionan excelentes datos como puntos de inicio. Los IS se pueden utilizar con un conjunto de herramientas de soporte de decisiones integradas, como son la evaluación de requisitos mínimos necesarios de producción, los inventarios de ciclo de vida y la evaluación de costos netos. De esta manera, los indicadores pueden orientar de manera informada la toma de decisiones.

Seguimiento del progreso

La capacidad para medir el progreso a lo largo del tiempo es esencial para el éxito de las iniciativas de sustentabilidad. Los índices son un medio económico y práctico para el seguimiento del desempeño de una empresa, una

organización o un gobierno en las áreas de impacto clave previamente seleccionadas. Este seguimiento cuantitativo es útil también para comunicar este desempeño a un público variado.

Al usar un mismo IS con los tres denominadores (cuadro 1), también ofrece un conjunto de datos valiosos para medir el progreso desde diferentes perspectivas. Por ejemplo, los indicadores calculados, como el impacto por unidad de producto, proporcionan información que es una función directa de las operaciones del proceso. Estas métricas son particularmente útiles para los tomadores de decisiones centradas en el rendimiento y mejora de procesos productivos o de servicios. Las métricas calculadas con los denominadores financieros incorporan la información relativa al precio de venta del producto y al costo de producción o servicio, dando información importante para la toma de decisiones estratégicas de negocio o de viabilidad financiera.

Consideración para el uso de indicadores de sustentabilidad

Como se ha visto, un IS describe gran cantidad de datos o información socioeconómica ambiental cuyo propósito principal es simplificar la información para que pueda ser útil a los tomadores de decisiones: empresarios y público en general. En los últimos años, diversos autores (Lyon Dahl, 1996; Jacobs, 1991) han sugerido que los IS deben ser lo suficientemente flexibles para medir temas, aspectos o tendencias comunes y al mismo tiempo ser universales.

Se puede considerar a los IS como la cuantificación del impacto que una actividad tiene en las tres dimensiones del desarrollo sustentable (económica, social y ambiental); éstos pueden incluir desde el nivel de contaminación que se genera, hasta cuantificaciones más complejas, como el volumen de la cubierta forestal que se requiere para mantener cierto nivel en el caudal de agua de una cuenca hidrográfica. Es importante considerar que los indicadores no pueden ser absolutos, sino estar relacionados con los conceptos, objetivos y valores de una sociedad o una industria en particular, por lo que sólo pueden establecerse en torno a un país, una empresa, una ciudad, preferiblemente partiendo de una consulta y una amplia participación de los *stakeholders* y los *stewards*.

Ejemplos de indicadores de sustentabilidad

En el ámbito mundial existen diversos esfuerzos de gobiernos, asociaciones e industrias por lograr el desarrollo de modelos de selección y uso de IS. Estos

indicadores se diseñan para incluir la presión de las actividades económicas sobre el ambiente, las condiciones de calidad y cantidad de los recursos naturales y una respuesta social en los ámbitos sectorial, nacional e internacional. En México, el Sistema de Indicadores Ambientales (Sidia) ha examinado y evaluado distintos tópicos relevantes en materia ambiental y preservación de recursos, y las políticas desarrolladas para contrarrestar los efectos negativos que la actividad humana ejerce sobre el ambiente (Cepal, 1994). En la siguiente sección se mencionan diferentes modelos de IS de perspectiva global.

Diferentes índices de sustentabilidad

Huella ecológica

Según William Rees y Mathis Wackernagel (1995), la huella ecológica es la superficie correspondiente de tierra de cultivo y de ecosistemas acuáticos necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población determinada, con un nivel específico de vida material, independientemente del lugar donde se encuentre. Entre más grande es la huella, más grande es su impacto ambiental sobre la Tierra. Este indicador es una invitación a ahorrar energía, usar menos los vehículos particulares y más el transporte público, e incluso comer moderadamente.

El Día del Sobregiro de la Tierra

La organización Global Footprint Network (GFN) calcula anualmente la huella ecológica de la población global (la demanda humana de recursos naturales en el planeta) y la compara con la "biocapacidad" de la Tierra, es decir con la habilidad de la naturaleza de reponer los recursos naturales y de asimilar los desechos humanos como el bióxido de carbono. El Día del Sobregiro de la Tierra marca la fecha en que la huella ecológica anual de la humanidad sobrepasa lo que la Tierra puede regenerar cada año. Este abuso ecológico llega más temprano cada vez. Desde el año 2000 hasta la fecha, el día del sobregiro de la Tierra se ha movido de octubre a agosto. Es decir, actualmente en menos de ocho meses la humanidad sobrepasa su presupuesto natural anual y entra en sobregiro ecológico; esto según datos de la GFN, una organización de expertos en sustentabilidad internacional, con oficinas en Norteamérica, Europa y Asia.

Vulnerabilidad

Muchos de los desastres son una combinación de amenazas naturales y de acciones antrópicas. La vulnerabilidad incluye como causa de desastres

tanto al entorno social, político y económico, como al medio ambiente natural (Blaikie *et al.*, 1996). La vulnerabilidad como modelo de IS está relacionada con la posición socioeconómica, raza, edad y actividades de la vida cotidiana; en esta concurrencia surgen patrones de vulnerabilidad que conducen al desastre.

Producto Interno Neto Ecológico

El Producto Interno Neto Ecológico (PINE) es un indicador que permite identificar el impacto que tiene el Producto Interno Bruto (PIB) en el agotamiento y deterioro de los recursos medioambientales causados por las actividades de producción, distribución y consumo en la economía; también es conocido como el “PIB verde”. Esta herramienta permite tener una cuantificación monetaria del costo de contaminar. Se puede observar que en los últimos años ha existido una brecha entre el PIB y el PINE que representa los costos asociados a la contaminación. El PINE se calcula restando al PIB el costo de la degradación ambiental, el costo por el agotamiento de los recursos naturales y los gastos de protección ambiental. El Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México del INEGI se ha basado en el PINE.

Sistema de cuentas ambientales y económicas integradas (SCAEI)

El Sistema de Cuentas Ambientales y Económicas Integradas (SCAEI) es una medición de la sustentabilidad, la producción, el ingreso y la riqueza mediante distintas formas de capital. Como modelo de IS facilita un marco para diagnosticar la contribución del medio ambiente a la economía e indica si el medio ambiente está siendo utilizado de modo sostenible, para continuar con la generación de ingresos en el presente y futuro (Murcia, 2009). En Colombia diferentes instituciones han realizado investigaciones sobre el tema.

Residuos tóxicos industriales

El desarrollo de una ciudad industrializada ha logrado el mejoramiento en la calidad de vida y el progreso de sus habitantes, pero ha causado una cadena de impactos negativos al medio ambiente y a la salud pública. El manejo de desechos peligrosos en México y América Latina generalmente no se realiza de manera planificada, sino orientado al tratamiento y disposición final más que a su prevención y aprovechamiento; la normatividad está descentralizada, hacen falta reglamentos técnicos especializados en la materia. En el caso de Colombia, se creó la Bolsa Nacional de Residuos y Subproductos Industriales (Borsi), que es un mecanismo para fomentar el intercambio de residuos y Subproductos Industriales mediante transacciones

de compraventa entre demandantes y ofertantes y para facilitar la recuperación, el reciclaje y la reintroducción de dichos materiales a las cadenas productivas. Esta iniciativa es coordinada en Colombia por el Centro Nacional de Producción Más Limpia, con sede en la ciudad de Medellín y articulada a escala regional en ese país.

Conclusión

Poniendo el concepto de sustentabilidad en funcionamiento, se requiere de formas prácticas y rentables para evaluar el desempeño y medir el progreso. Los IS aquí presentados proporcionan a profesionistas involucrados en producción y administración (administradores, diseñadores, ingenieros, etc.) métricas simples para evaluar a una empresa, organización o gobierno en términos de consumo de recursos y emisión de contaminantes, al mismo tiempo que para obtener mayor beneficio en sus procesos. Los IS pueden apoyar la toma de decisiones proporcionando un mecanismo para la evaluación comparativa del rendimiento, el seguimiento del avance en el tiempo, la evaluación de productos y procesos y el desarrollo de estrategias de mejoramiento.

Bibliografía

- Avellaneda, A. (2002), *Gestión ambiental y planificación del desarrollo. El sujeto ambiental y los conflictos ecológicos distributivos*, Bogotá, ECOE Ediciones.
- Blaikie, P., T. Cannon, I. Davis y B. Wisner (1996), *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres*, Colombia. LA RED: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Trad. Esp. de Wisner, B.
- Canter, L. W. (1997), *Environmental impact assessment, cap. 2: Environmental Engineers Handbook*, 2a. ed., Boca Ratón, Florida, Lewis Publishers/ CRC Press, pp. 149-452.
- Daly, H., y J. Cobb (1997), *Para el bien común*, Santafé de Bogotá, Fondo de Cultura Económica.
- Durán, R. A. V. y S. Suescún (2013), *Modelo de gestión urbana sostenible: Una opción para el mejoramiento de la habitabilidad en las ciudades*, Colombia, Ediciones Uninorte.

- Ideam (1998), *Estado ambiental del país y de las cuencas*, Santafé de Bogotá, Ideam.
- Jacobs, M. (1991), *Economía verde, medio ambiente y desarrollo sostenible*, Santafé de Bogotá, TM Editores/ Universidad de los Andes.
- Jiménez, M. y S. Sideri (1985), *Historia del desarrollo regional en Colombia*, Bogotá, Cerec/ Cider.
- Lyon Dahl, A. (1996), *Medir lo inconmensurable. Nuestro planeta*, 8(1), pp. 29-33.
- Machado, A. (1998), *La cuestión agraria en Colombia a fines del milenio*, Santafé de Bogotá, El Áncora Editores.
- Mandel, E. (1975), *Tratado de economía marxista*, 5a. ed. en español, vol. II, México, Era.
- Murcia, D. (2009), *El sistema de cuentas económico-ambientales integradas, la medición de la sostenibilidad ambiental del desarrollo en Colombia*, Memorias CISDA IV.
- Panel de Alto Nivel sobre Sostenibilidad Global de Naciones Unidas, 30 de enero de 2012. Disponible en http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2012/01/120130_desarrollo_predicciones_2030_am.shtml. Recuperado el 25 de junio de 2016.
- Ress, W. y M. Wackernage (1995), *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, Canadá.
- Schwarz, J., B. Beloff y E. Beaver (2002), *Use sustainability metrics to guide decision-making. Chemical Engineering Progress*, 98(7), pp. 58-63.
- Steger, U. (ed.) (2004), *The business of sustainability*, Basingstoke, Palgrave Macmillan.
- Töpfer, K. (1996), "Cities: Our common future", *Our Planet*, 8(1).
- Vega, L. (1998), *Gestión medioambiental*, Santafé de Bogotá, TM Editores/ DNP.

Ciclo de vida

Brenda García Parra

El pensamiento de ciclo de vida

Hablar de ciclo de vida puede resultar ambiguo si no se le relaciona con un contexto o un concepto específicos, puesto que es un término que se utiliza en los campos tanto de las ciencias ambientales como de la mercadotecnia para describir las fases por las que atraviesa la marca de un producto, o en educación básica para explicar, por ejemplo, las etapas de desarrollo de algún organismo.

Sin embargo, aunque el concepto básico involucra una serie de fases por las que atraviesa de inicio a fin, su relación con la sustentabilidad devela una necesaria vinculación de las leyes de la naturaleza con las actividades del hombre.

En la naturaleza, lo “cíclico” puede observarse como una ley mediante la cual se rigen todas las especies y procesos, permitiendo una regeneración constante al lograr que el fin de un proceso permita el inicio de otro en un lapso determinado y acorde con otros procesos u organismos. Esto, a lo largo de miles de años, ha permitido la continuación (o sustentabilidad) de la vida en la Tierra.

De esta forma, un proceso cerrado (de inicio a fin, pero permitiendo un nuevo inicio) equivale a un ciclo y no a una trayectoria lineal, lo cual pondría en riesgo la continuación constante de uno o varios procesos, o de la vida misma. Sin embargo, la traslación de este concepto o “ley de la naturaleza” a las actividades del hombre para analizar y tomar acciones hacia una sustentabilidad ha significado un reto importante, pues son diversos los factores que deben tenerse en cuenta.

En términos del modelo de desarrollo que el hombre ha planteado, estas actividades se relacionan particularmente con los patrones existentes de producción y consumo; y poder visualizar todos los factores y aspectos que se presentan de inicio a fin es lo que se conoce como Pensamiento de ciclo de vida

De acuerdo con la el reporte publicado por el UNEP¹ (2013), el Pensamiento de ciclo de vida (LCT,² por sus siglas en inglés) consiste en:

Ir más allá del enfoque tradicional de los procesos de producción y manufactura, con el fin de incluir los impactos ambientales, sociales y económicos de un producto a lo largo de la totalidad de su Ciclo de Vida. Es una alternativa que pretende reducir el uso de recursos de un producto y sus emisiones al ambiente, al mismo tiempo que mejora su desempeño socioeconómico, dentro de una organización y a lo largo de su cadena de valor.

Para lograr lo anterior es necesario observar e identificar aquellas fases que se encuentran a lo largo de ese “inicio” y “fin” por las que atraviesa un producto, bien o servicio que será producido y adquirido, de aquí la importancia de destacar el vínculo inseparable entre producción y consumo.

El “inicio” de un producto o un bien siempre comienza con su diseño, pues es en este proceso creativo donde quedan definidas sus dimensiones y un sinnúmero de atributos y características. También es una fase donde incluso se cuestiona si es o no necesario producirlo, el tipo de necesidades que cubrirá (y por lo tanto el tipo de funcionamiento y materiales que deberá contener), entre muchos otros.

Luego continúa la fase durante la cual se llevan a cabo todos aquellos procesos para extraer la materia prima necesaria para su elaboración.

Vista como un Pensamiento de ciclo de vida, la contemplación de la fase de extracción de materia prima va más allá de cuestionar si es renovable o no un recurso a utilizar, sino que pretende visualizar todos los elementos, actores y factores que tuvieron que estar presentes para obtener dicho recurso.

Por ejemplo, si el producto o bien a elaborar requiere de un metal, la fase de extracción debe contemplar cuál fue la ubicación geográfica, si se realizaron excavaciones y explosiones para ingresar a una mina; si se utilizaron otros recursos para la obtención, recolección y selección del metal, entre otros. Lo anterior se relaciona principalmente con el impacto ambiental, pero es igualmente importante la observación del tipo de aspectos y afectaciones

1. United Nations Environmental Programme o Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, por sus siglas en español)

2. *Life Cycle Thinking*.

sociales y económicas relacionadas con el proceso de extracción de un recurso, como es un metal en este ejemplo.

Después de la fase de extracción de la materia prima utilizada, continúa la observación de todos los aspectos relacionados con la producción o manufactura que transforma la materia prima obtenida. Algunas preguntas que ayudan a conocer en esta fase el tipo de aspectos involucrados, podrían ser: ¿Dónde se realizará la producción? ¿Será en diferentes plantas industriales o maquiladoras o sitios de construcción? ¿Qué otra materia prima será utilizada para su transformación? ¿Se utilizará energía eléctrica? ¿Qué tipo de residuos se generarán? ¿Qué procesos de transformación se utilizarán y cuál será el tipo de maquinaria utilizada? ¿Factores como inequidad de salario o disminución de una calidad de vida se podrían asociar con la manufactura de este producto? Entre muchos otros.

Posteriormente, es posible hablar de una fase de distribución, pues aunque pueden existir cientos de materiales y una gran diversidad de subproductos los que fueron producidos en diferentes lugares y que por ende existen al mismo tiempo diferentes procesos de distribución para alcanzar un ensamble final (por ejemplo), los diferentes procesos en esta etapa se suelen agrupar en la misma fase de distribución para facilitar la visualización de las etapas que conforman su ciclo completo.

De esta forma, algunos aspectos que se encuentran involucrados en la fase de distribución son: distancia recorrida desde los diferentes lugares donde se produjeron los componentes del bien al lugar donde será ensamblado (en caso de un producto cuyos componentes fueron producidos en diferentes lugares); distancia final al punto de venta o de uso final; tipo de transporte utilizado (avión, tren, barco, entre otros); tipo de empaques utilizados para su distribución (algunos bienes frágiles requieren de una gran cantidad de empaques, así como de envolturas y plástico de “burbuja” y otros para protegerlos, que generalmente el usuario o consumidor final no llega a conocer); cantidad de personas y actividades vinculadas durante esta fase; entre otros.

Cuando el bien, servicio o producto ha sido adquirido e inicia una interacción con el usuario o consumidor final, se le denomina fase de “uso” o vida útil. Dependiendo del tipo de bien, esta fase puede tener una duración de 5 minutos (como en el caso de empaques desechables de alimentos) o de 40 años o más (como un mobiliario o una construcción), pero aun cuando parezca que no se da una cantidad considerable de impactos ambientales, sociales o económicos durante esta fase, preguntas como las siguientes permiten observar que sí existen diversos factores a tener en cuenta, por

ejemplo: ¿Qué necesita este bien para su funcionamiento? ¿Utiliza o requiere baterías, filtros, agua, gasolina o algún otro insumo durante su uso? ¿Qué elementos necesita para su limpieza? ¿Es posible repararlo o realizarle mantenimiento para alargar su vida útil? ¿La misma dinámica de uso propicia algún comportamiento insustentable o nocivo para el ambiente? ¿De qué manera su uso podría propiciar un impacto social negativo?

Por último, cuando la fase de uso llega a su fin, surgen cuestionamientos como: ¿Quién se encargará de su gestión final? ¿Está fabricado de tal forma que sus componentes puedan separarse y facilitar una reutilización o reciclaje? ¿Los residuos son tóxicos? ¿Si es degradable, biodegradable o compostable, qué condiciones tendrían que presentarse para que estos procesos inicien? ¿Cómo se transportarán y a quién le corresponde la gestión del tipo de residuos o desechos generados? ¿La reutilización y transformación del producto por el usuario final podrían representar una limitante para llevar a cabo un proceso de reciclaje³ formal? ¿Qué factores determinan el final de su vida? ¿Cuánto tiempo deberá pasar para que el elemento desechado pueda reintegrarse a la naturaleza? ¿Qué tipo de impactos se propician en esa reintegración? ¿Se generan emisiones al suelo, agua o aire derivadas de su desecho?

Las preguntas anteriores se relacionan con la fase de fin de vida, cuyas respuestas pueden ayudar a vislumbrar si se trata verdaderamente de un ciclo cerrado (cuyo fin genera un nuevo “inicio”) o bien de una trayectoria lineal o ciclo abierto.⁴

En cuanto a la denominación de un ciclo abierto, algunos autores llaman “cuna” a la primera fase del ciclo de vida y “tumba” al final de la vida, teniendo así ciclos de vida “de la cuna a la tumba”. Sin embargo, mediante la publicación denominada “De la cuna a la cuna”⁵ McDonough y Braungart (2002) pretenden cambiar el enfoque tradicional y fomentar que todo bien, producto o servicio cuente con un ciclo cerrado, diseñado “de la cuna a la cuna”, con el fin de que se evite el concepto de “basura” y que todo aquello que fue desechado o cuya vida útil llegó a su fin, pueda considerarse como alimento en un nuevo proceso.

³ Es de gran importancia resaltar que un proceso de reciclaje industrial formal requiere que el material se encuentre libre de intervenciones improvisadas, como la aplicación de adhesivos, pinturas y otros elementos, pues el material atraviesa por un proceso industrial definido, y si no cubre las características necesarias, no es seleccionado como material adecuado para su reciclaje.

⁴ Como lo denominan algunos autores

⁵ *Cradle to Cradle*.

De esta forma, contar con el interés o la capacidad de reconocer el tipo de aspectos y factores económicos, sociales y ambientales que pueden estar presentes en cada una de las fases del ciclo de vida de un bien o servicio denota ya la adquisición de un Pensamiento de ciclo de vida, y contar con este tipo de pensamiento no sólo en las actividades relacionadas con el productor sino también con el consumidor, podría significar cambios radicales en los patrones de producción y consumo.

“El Pensamiento de Ciclo de vida debería ser una forma de transformar personas, procesos y organizaciones a nivel mundial” (UNEP/ SETAC, 2013).

El análisis del ciclo de vida

Cuando el interés por conocer los aspectos antes mencionados va más allá de lograr una identificación, y el objetivo se relaciona con la necesidad de realizar una evaluación objetiva para poder determinar de manera exacta el tipo de impacto específico que se genera, el Pensamiento de ciclo de vida es auxiliado por una metodología denominada Análisis de Ciclo de Vida (ACV),⁶ la cual cuenta con una serie de procedimientos particulares que permiten evaluar, principalmente, el impacto ambiental de un proceso, material o producto final mediante la cuantificación y medición detallada de todos los elementos involucrados en cada una de las fases de su ciclo de vida.

La familia de estándares ISO⁷ 14000 incluye diversas normas relacionadas con la gestión y evaluación ambiental, entre las que se encuentra el estándar relacionado específicamente con la realización e implantación de estudios de análisis de ciclo de vida.⁸ De este modo, de acuerdo con la definición establecida en la norma ISO 14040, el ACV es una compilación y evaluación de todos los elementos que entran y salen de un sistema de producción a lo largo de su ciclo de vida, así como la identificación de los impactos ambientales potenciales (ISO, 2006).

En algunos casos, realizar estudios de análisis de ciclo de vida, de acuerdo con la norma ISO, es obligatorio en caso de que a alguna empresa le interese comunicar que su producto es “ecológico”, pues si no se posee una contabilización precisa de la cantidad y del tipo de impacto ambiental que genera, resulta ambiguo y difícil de comprobar qué tan “ecológico” resulta dicho bien.

⁶ LCA – Life Cycle Assessment, por sus siglas en inglés

⁷ International Standards Organization.

⁸ ISO 14040.

En este sentido, cabe destacar que aquella práctica en la que no se ofrece una información certera y precisa sobre los impactos ambientales de un producto, bien o servicio, y cuyo principal propósito es desviar la atención del consumidor mediante argumentos disfrazados de “ecológicos” para garantizar su compra, se denomina Greenwash. Esto es, comercializar un bien mediante la utilización de imágenes o textos como: “amigable con el medio ambiente”, “más natural”, “degradable”, entre muchos otros, resulta ambiguo en el sentido de que no es posible identificar qué tipo de “beneficio ambiental” realmente se obtiene al decir que es “amigable”. Por ejemplo, ¿por qué resultaría más “amigable” contar con un empaque de cartón, y respecto a qué material y en qué condiciones o contexto? En caso de los productos donde el proceso de “reciclaje” es su atributo o justificación como producto ecológico, ¿es posible identificar quién realizará el acopio del material y el proceso de reciclaje, y cuáles son las otras características de su vida útil, distribución o extracción de materia prima? Es decir, una pequeña característica que pretende mostrar una disminución del impacto ambiental en una parte de una fase del ciclo de vida no reemplaza ni elimina el resto de los impactos ambientales presentes a lo largo de las fases del ciclo de vida.

Por otro lado, debido a que en los ACV se utilizan indicadores que establecen porcentajes o unidades específicas que muestran el nivel de reducción de problemas ambientales específicos, como acidificación del agua, erosión de suelos, toxicidad en la salud humana, calentamiento global por el tipo de emisiones que envían a la atmósfera, un enunciado como “amigable con el medio ambiente” no permite identificar el grado de beneficio o mejora ambiental que ofrecen algunos productos.

Una aplicación común de los ACV es la que permite comparar impactos ambientales entre productos similares o pertenecientes a la misma categoría, por ejemplo entre pañales desechables y de tela. A primera vista, podría parecer que los pañales desechables causan mayor impacto ambiental, sin embargo (y gracias a la utilización de metodologías como el ACV), después de analizar minuciosamente los elementos y factores relacionados, puede observarse que el impacto generado por cada tipo de pañal pertenece a una clasificación distinta y por ende no podría establecerse fácilmente cuál es “menos dañino” para el medio ambiente. Por ejemplo, en el caso del pañal desechable sería necesario analizar el tipo de plásticos, algodón, fibras, empaque, y todos los demás materiales utilizados, la forma en que fueron extraídos y procesados para su transformación, el tipo de embalaje utilizado y los medios de distribución, la cantidad de pañales utilizados durante el día (posteriormente calculando la cantidad en meses y años), y su desecho (fase en que debe también observarse el volumen y tiempo que ocupará en un tiradero o relleno sanitario, según sea el caso). Y en el caso del pañal de

tela, también debe analizarse el tipo de fibras, hilos, aditamentos (botones, velcro, resortes) utilizados, su extracción, elaboración, distribución, uso y desecho. En el caso de la fase de uso de este producto, por ejemplo, si bien se logra la reutilización de gran cantidad de pañales en un lapso de tres años, respecto de los desechables, también es cierto que se utilizan cantidades importantes de agua y detergente (y en algunos casos cloro y energía eléctrica por el uso de lavadoras y secadoras).

De esta forma, después de un primer análisis surgiría la siguiente pregunta: ¿resulta menos dañino el impacto generado en el suelo por la cantidad y tipo de toxicidad que en él se desarrollará, o el relacionado por el uso y modificación del agua y la utilización de energía?

A partir de estos cuestionamientos comienza a evidenciarse la necesidad de realizar estudios como los ACV antes de garantizar si un bien es “amigable” o no (y en qué sentido se realiza esta afirmación), y que los impactos se encuentren presentes en todas las fases del ciclo de vida, no sólo en algunas de ellas.

Ahora bien, los ACV han sido comúnmente utilizados para evaluar los impactos ambientales, sin embargo, debido a que la sustentabilidad no sólo abarca la dimensión ambiental, se han incluido otro tipo de “indicadores” en esta y otras metodologías y herramientas de evaluación, para no dejar fuera aspectos cruciales, sociales y económicos.

La dimensión social en un análisis de ciclo de vida

De acuerdo con un artículo publicado por Efrogmson, Dale y Kline (2013), a propósito de una evaluación de sustentabilidad, se determinará qué indicadores son necesarios y cómo van a ser medidos; es decir, los indicadores permiten ser utilizados para evaluar y comunicar el estatus de aquello que se va a analizar (existen indicadores ambientales, sociales y económicos, entre otros), respecto a un objetivo, o también para monitorear tendencias, ofrecer señales de advertencia sobre cambios o medir dichas modificaciones de manera anticipada, ofrecer una comparación entre uso de elementos, entre otros.

La principal importancia en el uso de los indicadores radica en la identificación previa y en la aclaración sobre las definiciones a utilizar, las metas de aquello que va a ser analizado o evaluado, prioridades en torno al espectro de sustentabilidad, entre otras, con el fin de tener mayor claridad acerca de lo que va a ser medido, y la relación entre los elementos que se utilizarán como referencia para efectuar dichas mediciones (indicadores).

Así, los indicadores resultan de enorme utilidad para realizar cualquier evaluación de aspectos ambientales, sociales y/o económicos de productos, bienes o servicios, pues equivalen a referentes de características o propiedades específicas que pueden ser comparables y, lo más importante, medibles.

De acuerdo con un reporte elaborado por la OECD (2014), algunos indicadores sociales se relacionan con clasificaciones como: ingreso doméstico, fertilidad, migración, familia, apoyo a personas mayores, equidad (que incluye diversas dimensiones, como la posibilidad de tener servicios sociales y oportunidades económicas, así como igualdad de ingresos), o aquellos que permiten observar si en ciertos países⁹ es posible lograr algunas metas para asegurar que las personas y sus familias puedan ser autosuficientes, o tener equidad en el acceso a recursos económicos.

En esa misma publicación se muestra la creciente demanda de evidencias cuantitativas de bienestar social y sus tendencias en países pertenecientes a la OECD, particularmente para contar con referentes precisos sobre las afectaciones sociales cuando se presentan recesiones económicas importantes.

Sin embargo, si la medición exacta de aspectos ambientales presentes a lo largo del ciclo de vida puede resultar compleja, realizar esta misma tarea respecto a aquellos relacionados con la perspectiva social puede serlo aún más, de aquí que, incluso hasta el día de hoy, se llevan a cabo diferentes estudios y propuestas metodológicas para establecer la mejor manera de incluir y de medir los aspectos sociales.

De acuerdo con Hunkeler (2006), la evaluación social es vista por algunos autores y organizaciones como un complemento del análisis del ciclo de vida y de la evaluación del Costo Ambiental del Ciclo de Vida,¹⁰ además de como un tercer componente para medir la sustentabilidad del desarrollo. Sin embargo, todavía es necesario crear un consenso sobre cómo integrar y calcular los efectos sociales en los estudios comparativos de los productos o bienes.

Una de las metodologías que intenta lograrlo es aquella denominada Análisis de Ciclo de Vida Social,¹¹ la cual todavía se encuentra en su etapa inicial de desarrollo, y de acuerdo con Hunkeler, todavía es indispensable esclarecer

⁹ En este caso, aquellos pertenecientes a la OECD

¹⁰ Environmental Life Cycle Costing (LCC, por sus siglas en inglés).

¹¹ Societal Life Cycle Assessment (SLCA, por sus siglas en inglés).

conceptos y definir cómo se relacionan éstos con los más de los 200 indicadores sociales existentes.

La metodología a la que hace referencia Hunkeler (denominada SLCA), incluye como punto de partida estudios en los que ya se desarrolló un análisis de ciclo de vida. Así, se partiría ya de un marco y un sistema establecidos, y contaría con un inventario¹² de todos los aspectos ambientales relacionados. Posteriormente inicia la incorporación de datos e indicadores sociales, que mediante estimaciones y estadísticas realizan una serie de correlaciones. Dependiendo del estudio a realizar, o de los datos de interés a obtener, es la selección o enfoque específico en indicadores sociales.

Por ejemplo, en el artículo escrito por Hunkeler se tiene como referencia el análisis de ciclo de vida realizado para comparar los impactos ambientales de dos marcas diferentes de detergentes. Para ello, se utilizó la misma definición inicial de sistema e inventario de todo tipo en cada una de las fases del ciclo de vida de ambos detergentes (extracción de materia prima, producción, distribución, etc.), y posteriormente se inició el análisis de aspectos sociales, que en este caso se enfocó en la relación de las horas de trabajo, con la posibilidad de cubrir necesidades básicas específicas.

Derivado del estudio, uno de los resultados permitió observar que la producción del detergente 1 generó, respecto del otro detergente, 20% menos empleo en Rusia, 35% menos en Francia y 5 veces más en Canadá y en Sudáfrica, lo último debido al alto contenido de aluminio y a la relación entre la extracción de esta materia prima y el lugar donde se produce el resto del producto.

Otros resultados del estudio dejaron ver que la selección para producir uno de los detergentes incidía directamente en la posibilidad de obtener mayores o menores beneficios sociales en términos de vivienda, salud, educación, o para cubrir ciertas necesidades; o incluso, como uno de los detergentes utilizaba menos recursos para su producción, esto se traducía en creación de empleos o en beneficios sociales (dependiendo de si la producción se realizaba en regiones “menos desarrolladas”).

De esta forma, la inclusión de indicadores sociales en un análisis de ciclo de vida, y específicamente mediante el uso de metodologías como SLCA, permiten obtener una mayor perspectiva de sustentabilidad que resulta clave para determinar decisiones que van más allá de sólo modificaciones a escala industrial, al grado de impactar a niveles mayores relacionados con

¹² Life Cycle Inventory (LCI, por sus siglas en inglés).

la toma de decisiones en la política pública, o en la realización de políticas sociales en el ámbito local, con miras a un desarrollo sustentable.

Referencias

- Efroymsen, R., V. Dale y K. Kline (2013), "Environmental indicators of biofuel sustainability: What about context?", *Environmental management*, 51, pp. 291-306.
- Hunkeler, D. (2006), "Societal LCA Methodology and Case Study", *Social Life Cycle Assessment*, 11(6), pp. 371-382.
- ISO 14040 (2006), Environmental management – *Life cycle assessment – Principles and framework*, 2a. ed.
- McDonough, W. y M. Braungart (2002), *Cradle to Cradle, remaking the way we make things*, Nueva York, North Pont Press
- OECD (2014), *Society at a Glance 2014: OECD Social Indicators*, OECD Publishing. Disponible en http://dx.doi.org/10.1787/soc_glance-2014-en
- Labuschagne, C. y A. Brent (2007), "Social indicators for sustainable project and technology life cycle management in the process industry", *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(1), pp. 3-15.
- Leydervan de Souza, X. y J. Assunção (2014), "Life cycle thinking in graduate education: An experience from Brazil", *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, pp. 1433-1444.
- Loerincik, Y. y J. Kaenzig (2005), "Life cycle approaches for sustainable consumption", *24th LCA Swiss Discussion Forum*, conference reports, Michigan Experts. Universidad de Michigan.
- UNEP/ SETAC/ Life Cycle Initiative (2013), *What is life cycle thinking* Recuperado de <http://www.lifecycleinitiative.org>

Algunos elementos sobre los problemas del agua

*Flor Yunuén García Becerra
Rosalba Landa Ordaz*

El agua como recurso natural

La hidrosfera

Se conoce como hidrosfera a la capa de agua sobre la Tierra que incluye océanos, mares, ríos, lagos, agua subterránea, hielo y nieve. Se estima que el área de la hidrosfera es de 510 millones de km², con un volumen de aproximadamente 1 390 millones de km³, esto es, casi 75% de la superficie terrestre.

El agua puede clasificarse en fresca o dulce, y salada; el agua dulce, aunque conforma el 2.8% de la hidrosfera, sólo 14% de este porcentaje es accesible para su aprovechamiento, el 86% restante está congelada en glaciares. Por su parte, el agua de los océanos contiene en promedio 33 partes por millar de sales disueltas; esto significa que no es adecuada para su consumo y uso, pues para ello el agua debe ser fresca y cumplir con algunas características, entre otras, un limitado contenido de sales y que carezca de organismos que dañen la salud.

Del total de agua que existe en la superficie terrestre, únicamente 0.4% es fresca y disponible para consumo humano (figura 1), y 97.2% la conforman océanos. Para que el agua de mar pueda ser usada como agua dulce es necesario primero desalinizarla, proceso que en la actualidad es altamente costoso.

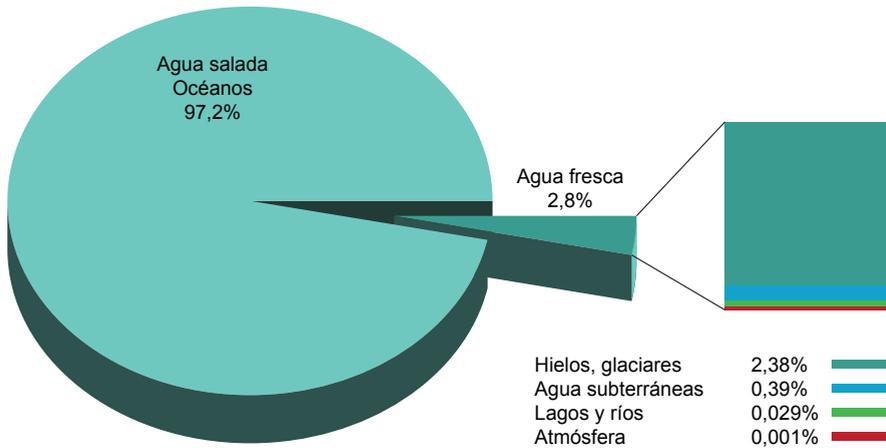


Figura 1. Distribución de agua en la hidrosfera. Únicamente el agua dulce puede ser consumida directamente por el humano. Disponible en http://infoagua.cl/imagenes/temas/agua/grafico_torta_disponibilidad_agua.gif

Más información sobre la hidrosfera, en <https://www.youtube.com/watch?v=wQTh5b7QhCQ>

El ciclo hidrológico

La cantidad de agua en el planeta permanece constante; como masa que es, no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Se halla en continua circulación y movimiento, pasando por los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso. El agua que llueve se almacena por cierto tiempo en cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Esta agua eventualmente llega a zonas costeras y finalmente a los océanos, para después evaporarse y formar así parte de lo que se denomina el ciclo hidrológico.

Las aguas superficiales son las más accesibles para el ser humano, y es posible distinguir dos tipos: 1) aguas lólicas o corrientes, esto es, masas de agua que se mueven siempre en una misma dirección, como ríos, manantiales, riachuelos, arroyos, y 2) aguas lénticas o interiores, quietas o estancadas, como lagos, lagunas, charcas, humedales y pantanos. También pueden clasificarse en artificiales (aguas superficiales creadas por la actividad humana), naturales y muy modificadas (aguas superficiales que, como consecuencia de alteraciones físicas producidas por la actividad humana, han experimentado un cambio sustancial en su naturaleza).

El ciclo hidrológico consta de tres fases principales: la precipitación, la evaporación y el flujo, tanto superficial como subterráneo. Cada una de estas

fases involucra transporte, almacenamiento temporal y cambio de estado, que dependen de factores ambientales como la temperatura, la latitud de la zona geográfica y la época del año. Más aún, es mediante el ciclo hidrológico como se descontamina el agua y se restituye en nuestro planeta.

Como se mencionó, el agua se almacena en distintos sistemas acuáticos: mares y océanos, arroyos, ríos, lagunas, lagos, presas, ríos, acuíferos, pantanos y casquetes polares, y en cada uno se mantiene por lapsos distintos. Pero de todos estos sistemas, sólo los de agua dulce dependen en gran medida del funcionamiento de las plantas y animales, que son base del desarrollo y mantenimiento de la humanidad.

Más información sobre ciclo hidrológico, en <https://www.youtube.com/watch?v=SDWT0ofqvZQ>
<http://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/54/el-agua-como-recurso>

Problemática del agua

El agua es necesaria e irremplazable para la vida, fundamental para los procesos biológicos, ambientales y sociales, e indispensable para el surgimiento y desarrollo de la vida y las civilizaciones. Sin embargo, actualmente estamos alterando a un ritmo acelerado tanto la hidrosfera como el ciclo hidrológico.

La disponibilidad del agua se encuentra bajo una presión acelerada y no sostenible. Las reservas de agua dulce están siendo utilizadas por los humanos a una tasa extremadamente veloz, de 4 a 20 veces mayor que la de recuperación mediante el ciclo hidrológico. Aunado a la extracción del agua se encuentra el cambio climático, que modifica el mencionado ciclo de manera irreversible y errática, por lo que este recurso, considerado como renovable, empieza a volverse no renovable. A la par, estamos degradando la calidad del agua dulce con contaminantes que aún no podemos remover, como pesticidas, fármacos, disruptores endocrinos, microplásticos, edulcorantes sintéticos, drogas ilegales, etc. De esta manera nos estamos enfrentando a serios y crecientes problemas relacionados con la disponibilidad, uso, mantenimiento y calidad de este valioso recurso.

Las principales tendencias en la problemática del agua

Se estima que para el 2025 más de 90% de la población mundial carecerá de algún modo de agua, el 25% de ellos vivirá en la escasez absoluta y el otro 66.7% bajo estrés hídrico. Esto indica que se deben reconsiderar y modificar hábitos de consumo y uso de agua. También se necesitará reevaluar y rediseñar los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para

este nuevo escenario. En el cuadro siguiente se mencionan las principales tendencias en la problemática mundial del agua.

De acuerdo con el reporte de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, 2014 (UNESCO, 2014)

- Se confirma la disminución de los suministros de agua subterráneos y se estima que 20% de los acuíferos del planeta están sobre-explotados, algunos de manera extrema.
- A escala mundial, las extracciones de agua dulce (tanto superficiales como subterráneas) han aumentado alrededor de 1% por año desde finales de la década de 1980, casi exclusivamente en los países en desarrollo.
- La extracción anual de agua dulce parece haberse estabilizado e incluso disminuido en la mayoría de países desarrollados, lo que sugiere mejoras en la eficiencia de uso y una creciente dependencia de la importación de productos con alto consumo de agua, entre ellos productos de alimentación.
- Para 2013, 768 millones de personas seguían sin acceso a fuentes mejoradas de agua y 2 500 millones todavía no disponían de servicios mejorados de saneamiento.
- Actualmente 2 000 millones de personas carecen de acceso a agua potable, y el número de personas cuyo derecho al agua no está cubierto es incluso mayor, probablemente unos 3 500 millones.

Disponibilidad

Para el 2050 habrá un aumento en la disponibilidad de agua de entre 10 y 40% en latitudes altas y zonas tropicales; mientras que en altitudes medias y regiones secas se experimentará un decremento de entre 10 y 30%. El consumo de agua aumentó seis veces durante el siglo XX, lo que agudizó la competencia entre países y regiones, y entre diferentes usuarios y actividades. El consumo de agua per cápita en los países desarrollados es aproximadamente ocho veces mayor que en los países en vías de desarrollo. Se estima que para el año 2025 se estará utilizando 40% del agua accesible global (Landa, 2014).

Cerca de 40% de la población vive en países con estrés hídrico entre moderado y severo. Los países con mayor estrés hídrico se concentran en el medio oriente, la zona mediterránea; destacan Japón, Indonesia, Filipinas y Australia. En América Latina se identifica a México, Perú, Chile y las islas del Caribe (Landa, 2014).

Hábitos de consumo y uso del agua

Actualmente el consumo de agua implica casi en su totalidad su disposición como residuo (agua residual). Esto es parte de una práctica más general de nuestra relación con los recursos naturales; por ejemplo, las áreas urbanas hoy en día consumen 75% de los recursos naturales del planeta y producen el 70% de los desechos a escala global (Ramsar, 2012; Seto, 2012). Nuestros hábitos de consumo de agua van a tener que ser forzados y volverse significativamente más eficientes, por ejemplo adoptando un reúso directo (uso de aguas grises para el riego de jardines).

En cuanto a su uso, no sólo utilizamos el agua potable como recurso para satisfacer nuestras necesidades básicas, sino también en la producción agrícola (en México representa casi 80% del consumo), como medio de transporte, dilución y transporte de contaminantes, en actividades recreativas y en la producción industrial. En condiciones de escasez, tanto la potabilización como el saneamiento de aguas necesitarán ser integrados a nuestra ecología urbana e industrial de manera diferente para que se minimice su consumo, se optimice su uso y se minimice el impacto del agua contaminada (De Oliveira, 2013; Dixon, 2014; Lee *et al.*, 2014).

Contaminantes emergentes

Dado que el reúso directo del agua residual no está integrado a la infraestructura de saneamiento, se pierden oportunidades importantes para su distribución y uso seguro. También, al no tratar las aguas residuales considerando su reúso se corre el riesgo de enfrentar problemas ambientales y de salud pública. Las aguas residuales municipales y de agricultura tienden a contener una mezcla diluida y altamente heterogénea de contaminantes que no se pueden remover del todo de manera económica, práctica ni eficiente mediante las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) convencionales. Como consecuencia, se encuentran contaminantes emergentes de agua (contaminantes en cantidades diminutas, ng/L o mg/L) en toda la hidrosfera: en aguas superficiales, de océano e incluso en la potable que se consume diariamente, se han encontrado concentraciones mínimas de cafeína, sucralosa, drogas ilegales (cocaína, heroína), medicamentos y hormonas (antidepresivos, anticonvulsivos, etc.), aditivos de cosméticos y productos de higiene, plaguicidas, y microplásticos.

La eliminación efectiva de los químicos mencionados requerirá de nuevas y disruptivas tecnologías para el tratamiento de aguas. En los últimos diez años, un significativo número de artículos se han centrado en estos contaminantes, y sus principales observaciones indican que se ha llegado al límite

de las tecnologías convencionales. Por otra parte, se ha observado que las innovaciones incrementales de los tratamientos actuales no son capaces de eliminar realmente estos contaminantes.

Incremento poblacional y urbanización

Se calcula que para el 2050, aproximadamente 70% de la población mundial vivirá en ciudades, 54% en 2014; esto equivale a construir una ciudad para un millón de habitantes cada 5 días a partir de hoy y hasta el 2050. El crecimiento urbano proyectado trae consigo importantes consecuencias para el recurso hídrico. No sólo incrementa la demanda del agua, sino que también disminuye sustancialmente su disponibilidad. Al construir sobre las áreas de recarga durante la urbanización, se pierde la capacidad de reponer agua de manera local, a la par que se contaminan los cuerpos de agua cercanos a dichas ciudades.

En los años por venir, las zonas urbanas en regiones semiáridas de México enfrentarán problemas de abastecimiento de agua, en relación directa con el aumento de su población y por ende de la demanda. Las razones principales estarán en el abatimiento de los acuíferos, que tendrán menor recarga potencial debido al aumento en la evapotranspiración en un clima más cálido, o en la reducción de los caudales de los ríos que alimentan a grandes centros urbanos. El problema actual de disponibilidad y distribución del líquido se agravará en mayor o menor medida por el aumento en la temperatura (Landa *et al.*, 2008).

Las presiones sobre el recurso hídrico, derivadas del crecimiento demográfico y de los efectos del cambio climático, exigen llegar a soluciones eficientes de agua y saneamiento, implementables, gestionables, flexibles y resilientes en el corto y mediano plazos. Por ejemplo, se espera que, para el 2030, tecnologías descentralizadas de saneamiento tendrán que dar servicio a casi 5 000 millones de personas, casi la misma cantidad de población a la que se sirve con la red de saneamiento actual. Desafortunadamente la gestión de los sistemas descentralizados aún es un área por desarrollar.

Algunos aspectos del agua en México

Los recursos hídricos son considerados un bien público, el bien común más valioso para la vida en el planeta y para lograr el desarrollo humano. Desde el 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas ha reconocido el acceso al agua potable y al saneamiento como un Derecho Humano (Landa, 2014).

Desde el 8 de febrero del 2012, la Constitución mexicana ha establecido como derecho humano el acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. Sin embargo, la disposición de agua tiene limitantes de distribución geográfica, ambientales y hábitos de uso. El saneamiento, tema clave para la gestión integral del agua, tiene limitantes económicas y ambientales. A continuación se mencionan los puntos principales en temas de agua y saneamiento para el territorio nacional.

La disponibilidad de agua en México es un problema que incluye la distribución geográfica del recurso, su uso, contaminación continua y sobreexplotación. México tiene aproximadamente 0.1% del total de agua dulce disponible en el mundo, con un porcentaje importante de territorio semidesértico (en el centro y en el norte), mientras que el sur-sureste posee casi siete veces más agua que el resto del país. Esta "mala" distribución del agua se agudiza por el hecho de que las zonas centro y norte tienen 77% de la población nacional y generan 85% del producto interno bruto (PIB), aunque sólo tengan en promedio 32% del recurso hídrico.

Contrastan los más de 22 000 m³/hab/año disponibles en la región de la frontera sur, con los 160 m³/hab/año en el centro del país. En varias regiones del centro y norte se tienen ya niveles inferiores a los 2 500 m³/ hab/año. En particular, en la península de Baja California, región del río Bravo y cuencas del norte, se estima que la disponibilidad para el año 2020 será menor a 1 000 m³/ hab/ año, considerado por la OMM como el umbral mínimo para satisfacer las necesidades básicas. Lo anterior coloca al centro de México: Estado de México, Puebla, Tlaxcala, Morelos, Hidalgo y la Ciudad de México, con el más alto nivel de presión sobre sus recursos hídricos, de acuerdo con datos oficiales de la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2013; Landa, 2014).

En el ámbito mundial, México está entre los 10 mayores consumidores de agua (197 425 millones de m³/ año): agricultura, 77%; público en general, 14%; termoeléctricas, 5%; industria en general, 4%. Aunque cabe mencionar que la distribución de consumo tampoco es uniforme entre los grupos mencionados; por ejemplo, en la Delegación Iztapalapa (Ciudad de México), alrededor de 450 000 habitantes viven con menos de 50 L/ hab/ día, mientras que en la delegación Miguel Hidalgo se han detectado consumos de hasta 500 L/ hab/ día.

La disponibilidad del agua también disminuye por contaminación de los cuerpos acuáticos de aguas residuales, municipales e industriales. Del agua residual municipal producida, sólo 36.1% es debidamente tratada e introduce 255 m³/s de aguas residuales a la naturaleza, lo que equivale a que cada día se arrojen unas 5 800 toneladas de materia orgánica. Sumándose

a la contaminación de estos efluentes se encuentran efluentes informales, en lugares que carecen de servicios de saneamiento: 11% de la población nacional, aunque, según el INEGI, hay regiones como Oaxaca y Guerrero donde hasta 30% de la población carece de estos servicios. Del lado del agua residual industrial, se liberan 216 m³/s, que corresponden a 37 000 toneladas de materia orgánica. Los principales efluentes industriales son agrícolas, azucareros, petroleros, agropecuarios y químicos.

Las implicaciones por la falta de tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales son graves. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (Conagua), en 2005 se detectó que de los 553 cuerpos de agua evaluados, 49% presentaba un bajo nivel de contaminación, 24% presentaba un nivel de contaminación que hacía imposible su uso, y únicamente 27% de los cuerpos de agua evaluados tenían una calidad entre excelente y aceptable.

El escenario de escasez de agua, más la contaminación de la poca que hay, está llevando a la sobreexplotación exponencial de los acuíferos del país. En 1975 había 32 acuíferos sobreexplotados; 10 años después había 80, y para finales de 2012 se llegó a 106, de tal forma que la disponibilidad per cápita de agua en México disminuyó significativamente en las últimas décadas; en 1950 era de 18 035 m³/ hab/ año, y pasó en el 2013 a 3 982 m³/ hab/ año, cifra calificada como baja por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.

Más información sobre la problemática del agua en México, en <https://youtu.be/GKtJPGtsZ5w>
<http://cuentame.inegirg.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>

Unidad de gestión del agua

Una cuenca hidrográfica se define como el espacio geográfico que contiene escurrimientos de agua que conduce hacia un punto de acumulación terminal cuando este punto en el mar es una cuenca hidrográfica abierta, y de otra manera si se trata de una cuenca cerrada. En las cuencas coexisten todos los recursos naturales renovables: agua, suelo, flora y fauna

Tipificación de una cuenca:



La cuenca es la unidad territorial más aceptada para la administración del recurso hídrico; sin embargo, como en sí mismas no coinciden con los límites político-administrativos del territorio, se dificulta la gestión.

(Carabias y Landa, 2005).

El agua y el cambio climático

Los cambios en la disponibilidad y en la calidad del agua, independientemente de su origen, se acentúan con los cambios climáticos. Aumentos de 2°C en la temperatura pueden llevar a disminuciones de hasta 15% en la disponibilidad del agua. Estas transformaciones provocarán problemas socioambientales que afectarán dramáticamente la calidad de vida de la población. Los impactos derivados del uso ineficiente de los recursos hídricos se agudizarán por el incremento poblacional y la acción combinada de procesos biofísicos, sociales, económicos, culturales, políticos y tecnológicos; de ahí que se trate de problemas complejos que requieren para su análisis de una perspectiva sistémica (Landa *et al.*, 2008).

Uno de los efectos más graves del cambio climático es la alteración del ciclo del agua. El cambio climático representa una amenaza para el suministro del líquido en varias regiones y países, en particular para los grupos sociales marginados que viven en áreas con baja disponibilidad. Las poblaciones de zonas secas están en mayor riesgo hídrico debido a la actual disminución de reservas de aguas subterráneas y a que se espera mayor evaporación por incremento en la temperatura, mayor ocurrencia de sequías y disminución o retraso de las lluvias (Landa *et al.*, 2010).

Los cambios en el clima y las condiciones esperadas por cambio climático pueden provocar que:

- El ciclo hidrológico sea más intenso, con lo que se podría:
 - Aumentar el número de tormentas severas.
 - Presentar periodos de sequía extremos y prolongados.
 - Aumentar el número de incendios forestales.
 - Afectar los ecosistemas naturales que hacen posible el mismo ciclo del agua.
- Disminuyan las lluvias entre 5 y 10% para finales de este siglo.
- Se afecte la calidad de los cuerpos de agua dulce por elevación del nivel medio del mar.

- Se agraven las formas de contaminación del agua, lo que podría impactar a los ecosistemas naturales y a la salud humana.
- Existan problemas para el mantenimiento y operación de la infraestructura de protección, distribución y almacenamiento de agua a los poblados; además de daños físicos a la infraestructura hidráulica, es decir a los drenajes, presas y tuberías diversas.
- Se presente una multitud de impactos indirectos por las sequías y las ondas de calor.

En los asentamientos humanos, la gestión del agua deberá enfrentar diversos impactos, ya que en ciudades y poblados, en condiciones de cambio climático, se esperan:

- Incrementos en la demanda de agua.
- Más consumo de energía para mantener el confort en casas, edificios e industrias.
- Mayores daños a las infraestructuras urbanas.
- Afectaciones a la salud de adultos mayores y niños, por incremento de enfermedades diarreicas agudas y las transmitidas por vectores como dengue y paludismo.
- Mayores efectos de las “olas de calor” si no se cuenta con una infraestructura o estrategias que los contrarresten.
- Riesgos adicionales por:
 - Inundaciones y sobrecarga en redes de alcantarillado.
 - Inundaciones en zonas costeras y ribereñas.
 - Deslaves y deslizamientos de tierra.
 - Falta de esquemas de aseguramiento de bienes adecuados y accesibles.

Aunado a lo anterior, las grandes ciudades crecerán a costa de las zonas de conservación forestal que proveen servicios ambientales a sus habitantes. La expansión urbana ha favorecido el crecimiento de cinturones de pobreza extrema en áreas periurbanas, ocupadas por grupos poblaciones vulnerables y en riesgo climático. Las ciudades costeras empiezan a ver implicaciones en la elevación del nivel del mar, en la erosión de malecones y playas (Landa, 2011).

Innovaciones sociales y tecnológicas

De la misma manera que los problemas por el agua incrementan día a día, hay también nuevos desarrollos tanto sociales como científico-tecnológicos creciendo continuamente que nos pueden ayudar a llegar a soluciones inno-

vadoras. En el ámbito socioeconómico, tenemos microcréditos para ayudar en la implantación y gestión de soluciones de saneamiento descentralizadas. También se están diseñando procesos de innovación social que ayudan a cocrear soluciones de manera participativa, como se experimenta actualmente en el Laboratorio LeNS de la UAM Cuajimalpa, parte del proyecto leNS (learning network for sustainability) en el marco de Erasmus + de la Unión Europea. Más aún, hay modelos educativos innovadores, como el modelo UAM-C, centrado en el alumno, y aprendizaje basado en problemas, para el desarrollo de profesionales más flexibles, multidisciplinarios y orientados al estudio de los problemas del siglo XXI.

En el ámbito científico-tecnológico, la investigación básica y aplicada están aumentando nuestra comprensión de sistemas complejos que se encuentran en lugares como las redes de distribución de agua potable y alcantarillado, sistemas centralizados y descentralizados integrados, y en el tratamiento biológico de aguas residuales y lodos fecales. Estas herramientas incluyen conceptos innovadores, como sustentabilidad y resiliencia, así como pensamiento sistémico, análisis de grandes volúmenes de datos (big-data), y análisis ómicos (genómica, proteómica, metabolómica, etc.). Ambos tipos de herramientas están siendo desarrollados, socializados y exponenciados por la segunda era de las máquinas (computacional), y puestos en marcha por medio de una red digital común y global, es decir el internet. Las oportunidades de cocreaciones integrales y participativas están más cerca de nosotros que nunca.

En un futuro de mediano plazo, también se necesitarán desarrollar nuevos procesos administrativos y de negocios para enfrentar a nuestro cambiante mundo y aprovechar las nuevas prácticas sociales y tecnológicas descritas arriba. Como se evidenció en el siglo pasado, cuando las fábricas estadounidenses se electrificaron, aunque aumentaron sus capacidades operativas no mejoraron su productividad; esto se debió a que tendían a mantener el mismo diseño y organizaciones de cuando eran impulsados por motores de vapor. Fue después de 30 años cuando una nueva generación de administradores y gerentes modificaron el diseño y operación de las fábricas. Las máquinas fueron redistribuidas en función de los flujos de trabajo y del material, y más recientemente han incorporado los conceptos de eficiencia en la fabricación, gestión de la calidad total, principios Six-Sigma, etc., todo lo cual ha dado lugar a aumentos en la productividad, y como tal, se requiere innovación administrativa y organizacional para cosechar los beneficios de las tecnologías innovadoras.

Pero las nuevas tecnologías también necesitan estar bien administradas. Es común que las tecnologías innovadoras verdes tengan su origen en diversos sectores (nanotecnología, computación, química, biotecnología, etc.), mediante

expertos geográficamente dispersos, y por lo general están patentadas (OCDE, 2012b; Ardito, 2016; Albino *et al.*, 2014, y Wagner, 2007). Por lo tanto, el desarrollo de este tipo de soluciones requiere de supervisar cuestiones técnico-económicas que exigen una compilación de diversas habilidades y competencias administrativas y técnicas, junto con la constante retroalimentación de las diferentes partes interesadas (Ardito, 2016). De esta forma, para enfrentar los problemas de agua y saneamiento del siglo XXI se necesitará incluir la innovación y las prácticas de transferencia tecnológica.

Más información sobre innovaciones sociales y tecnológicas, en <https://www.youtube.com/watch?v=CmJWGQE1pdQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=XVk3g--3Duc>

La gestión del agua en México

En las últimas tres décadas el agua en México pasó de ser un factor que favorecía el desarrollo, a ser un recurso que se está volviendo limitante para el desarrollo. La política hidráulica impulsada durante el siglo pasado se concretó fundamentalmente en el uso, aprovechamiento y explotación del agua, y construyó parte importante de la infraestructura indispensable para el desarrollo social y económico nacional. No obstante, la preocupación por los efectos producidos sobre el medio ambiente no fue incorporada sino hasta los últimos años, cuando las manifestaciones del deterioro fueron evidentes y, en muchos casos, muy graves. Ello llevó a cuestionar la política hidráulica para convertirla en una política hídrica cuyos principios rectores sean la conservación del ciclo hidrológico y de los ecosistemas naturales vinculados a éste, así como el manejo integral del agua para garantizar el bienestar de las presentes y futuras generaciones. Esto implica cambiar paradigmas, revertir las tendencias de deterioro del recurso hídrico y planear el desarrollo social y económico en concordancia con los límites que le impone la naturaleza (Carabias y Landa, 2005).

En México existen todas las posibilidades para que mediante la gestión integral del recurso hídrico se consolide una política que garantice el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

Referencias

Albino, V., L. Ardito, R. M. Dangelico y A. M. Petruzzelli (2014), "Understanding the development trends of low-carbon energy technologies: A patent analysis", *Applied Energy*, 135, pp. 836-854.

- AquaRec (2006), "Integrated concepts for reuse of upgraded wastewater", EVK1-CT-2002-00130, EUA funded project, Work Package 2: *Guideline for quality standards for water reuse in Europe*, Universidad de Barcelona, M. Salgot y E. Huertas (eds.).
- Carabias, J y R. Landa (2005), "Agua, medio ambiente y sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México", Fundación Gonzalo Río Arronte IAP, México, El Colegio de México/ UNAM.
- Club Ensayos (2013), *Las cuencas hidrográficas de México*, ClubEnsayos.com. Recuperado en marzo de 2013, de <https://www.clubensayos.com/Temas-Variados/Las-cuencas-hidrográficas-de-México/628117.html>
<http://eleconomista.com.mx/entretenimiento/2015/03/22/mexico-hay-poca-disponibilidad-agua>
http://www.who.int/gho/urban_health/situation_trends/urban_population_growth/en/
- Conagua (2013), *Estadísticas del agua en México*, México, Semarnat-Subdirección General de Planeación.
- (2014), *Estadísticas del agua en México*, México, Semarnat-Comisión Nacional del Agua, 242 p.
- (2015), *Atlas digital del agua*. México, México, Semarnat-Comisión Nacional del Agua, 141 p.
- (2015), *Numeragua*, México. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/NUMERAGUA2015.pdf>
- FAO (2013), "Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?", *Informe sobre temas hídricos*, 35.
- Diario Oficial de la Federación*, "Programa Nacional Hídrico 2014-2018", 6 de abril de 2014.
- Diario Oficial de la Federación*, "Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996" (establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales), 11 de diciembre de 1996.
- Landa, R. (2011), "Amenazas del clima, ciudades vulnerables", *México Social*, 12, México, julio.

- (2014), "El acceso y uso del agua en México", sistematización de investigación sobre Coca-Cola y Nestlé en el acceso y usufructo del agua en México, México, Oxfam México.
- Landa, R., V. Magaña y C. Neri (2008), *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático*, Semarnat/ CCA-UNAM, México.
- Landa, R., B. Ávila y M. Hernández (2010), *Cambio climático y desarrollo sustentable para América Latina y el Caribe. Conocer para comunicar*, British Council, México, PNUD México, Cátedra UNESCO-IMTA, Flacso México, 140 p.
- Lee, J., A. B. Pedersen y M. Thomsen (2014), "Are the resource strategies for sustainable development sustainable?: Downside of a zero waste society with circular resource flows", *Environmental Technology & Innovation*, 1, pp. 46-54.
- OECD (2012), "Organisation for Economic Co-operation and Development", *OECD Green Growth Studies: Energy*, OECD.
- Strande, L., M. Ronteltap y D. Brdjanovic (eds.) (2014), *Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation*, IWA Publishing.
- UNESCO (2014), *Agua y energía. Datos estadísticos. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2014*, UN-WATER. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos-División de Ciencias del Agua, WWDR.
- Wagner, M., V. Bachor y E. W. Ngai (2014), "Engineering and technology management for sustainable business development: Introductory remarks on the role of technology and regulation", *Journal of Engineering and Technology Management*, 34, pp. 1-8.

Tecnologías para el control de la contaminación ambiental: parte I: aguas residuales, residuos sólidos, residuos peligrosos y suelos.

*Juan Antonio Velasco
Sergio Hernández Jiménez
Irmene Ortiz López*

Introducción

El deterioro global que ha sufrido el medio ambiente durante varias décadas está directamente ligado con el incremento de la población mundial y sus diversas actividades. La población mundial actual es de más de 7 000 millones que utilizan y explotan los recursos de la Tierra a un ritmo acelerado e intensidades que superan la capacidad de sus sistemas para absorber los residuos y neutralizar los efectos adversos sobre el medio ambiente. De hecho, el agotamiento o la degradación de varios recursos clave ya han limitado el desarrollo convencional en algunas partes del mundo (UNEP, 2012), por lo que uno de los principales retos de la humanidad es remediar el deterioro que con algunas de sus actividades productivas han provocado en el agua, el aire y los suelos. Más aún, evitar que el daño al medio ambiente siga aumentando, mediante la modificación de los procesos actuales o proponiendo procedimientos sostenibles y amigables con el ambiente.

Entre los 17 objetivos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, el número 6 es garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, y el saneamiento para todos (ONU, 2016). Esta misma organización estima que la escasez de agua afecta a más de 40% de la población mundial, y prevé que esta cifra aumente. Por otro lado, más de 1 700 millones de personas viven actualmente en cuencas fluviales, donde el consumo de agua es superior a la recarga y al 80% de las aguas residuales resultantes de las actividades humanas que se vierte en ríos o al mar sin que se eliminen los contaminantes, por lo que para el 2030, entre otras metas

para el desarrollo sostenible, se han fijado mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a 50 % de las aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad, a escala mundial (ONU, 2016).

Otro de los objetivos para el desarrollo sostenible de la ONU es garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles (objetivo 12), es decir, hacer más y mejores cosas con menos recursos, incrementando las ganancias netas de bienestar de las actividades económicas mediante la reducción de la utilización de los recursos, la degradación y la contaminación durante todo el ciclo de vida, y logrando al mismo tiempo una mejor calidad de vida. Las metas para 2020 a este respecto incluyen lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir de manera significativa su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de reducir al mínimo sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente, y para el 2030, disminuir de manera sustancial la generación de desechos mediante políticas de prevención, reducción, reciclaje y reutilización (ONU, 2016).

En el presente capítulo se presenta una revisión de las tecnologías de tratamiento que actualmente existen como opciones para sanear, tratar y, en su caso, reaprovechar, los desechos provenientes de las actividades industriales. Se abordan los tratamientos de aguas residuales, residuos sólidos, residuos peligrosos y suelos contaminados, mientras que las tecnologías para el tratamiento de contaminantes de aire, incluyendo las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI) responsables del calentamiento global, se abordarán en el siguiente capítulo.

Aspectos generales sobre tecnologías para el control de la contaminación ambiental

Si bien el enfoque principal del desarrollo sostenible es evitar o minimizar las emisiones contaminantes, el daño que se ha producido al medio ambiente requiere de técnicas que permitan remediar dichas afectaciones, así como evitar que las matrices ambientales (agua, aire, suelo, biota) sigan siendo receptoras de compuestos contaminantes. Para ello se han desarrollado numerosas tecnologías que permiten eliminar, reducir o mitigar la presencia de contaminantes.

La selección de tecnologías para tratar un sitio específico o un problema de contaminación ambiental debe tener en cuenta la identificación de la fuente de contaminación, es decir el origen físico o geográfico donde se produce una liberación de contaminantes al medio ambiente (aire, agua y suelo), con el riesgo de dañar el equilibrio ecológico y provocar reacciones negativas en la salud de la población. Los aspectos técnicos que se deben tener en cuenta incluyen la caracterización de la emisión, es decir la identificación y cuantificación de los contaminantes; la caracterización de la matriz ambiental receptora de la contaminación; los objetivos respecto a los niveles residuales de los contaminantes que deben ser alcanzados; las potenciales tasas de degradación, límites de concentración y degradación de posibles subproductos tóxicos; así como la identificación de los factores de seguridad. Además de los factores económicos y sociales que implican la aplicación de dichas tecnologías.

Dependiendo del sitio donde se aplican las tecnologías de tratamiento, pueden ser clasificadas en *in situ* o *ex situ*, esto es, si se realizan en el sitio donde se genera la contaminación o si los contaminantes son transportados al lugar donde se realizará el tratamiento. Por otro lado, de acuerdo con el principio que utilizan, las tecnologías de tratamiento de contaminantes pueden clasificarse en fisicoquímicas y biológicas. A continuación se describen algunas de las principales características de estos dos grupos de tecnologías de control de la contaminación ambiental.

Métodos fisicoquímicos

Estos métodos pueden utilizar principios físicos, tales como: barreras físicas para evitar el contacto de los contaminantes con las matrices ambientales (confinación); membranas para la separación de contaminantes (filtración); también pueden utilizar la gravedad para procesos de sedimentación de los contaminantes. Por otro lado, los métodos químicos utilizan agentes químicos para extraer o reaccionar con los contaminantes (extracción y reacción oxidación-reducción, respectivamente), además de las propiedades fisicoquímicas de los contaminantes y la matriz en que se encuentran, para favorecer procesos de absorción o adsorción. Por otro lado, también se puede utilizar la energía térmica para la eliminación de contaminantes mediante combustión. Entre las ventajas de estos métodos encontramos que en general son rápidos y eficientes, aunque pueden ser costosos o demandantes energéticamente. Adicionalmente, la mayoría de ellos no elimina los contaminantes del ambiente, sino que son procesos de transferencia de fase donde eventualmente los contaminantes deben ser tratados o confinados.

Métodos biológicos

Los métodos biológicos son conocidos regularmente como biorremediación, es decir la utilización de microorganismos o procesos microbianos para detoxificar y degradar contaminantes ambientales (Baker y Herson, 1994). Las técnicas de biorremediación son diversas, pero todas aprovechan la capacidad de la naturaleza para transformar contaminantes, estableciendo las condiciones para favorecer los procesos de biodegradación, y aunque son vistas como tecnologías emergentes, el uso de microorganismos es una práctica muy antigua en la transformación de efluentes sólidos, líquidos y gaseosos.

Los tratamientos biológicos para problemas de contaminación han demostrado ser procesos eficientes y viables. Los costos de operación en general son bajos debido a que operan en condiciones ambientales y no generan desechos. Sin embargo, su principal desventaja es que son procesos lentos.

1. Tecnologías para el control de la contaminación del agua

La reducción de la contaminación es imprescindible para mejorar y preservar los ecosistemas y proporcionar agua potable para los seres humanos. El tratamiento de aguas residuales municipales e industriales se puede realizar con la tecnología existente, pero requiere mejor supervisión de las normativas, inversión en infraestructura e incremento de capacidad, especialmente en los países en desarrollo (UNEP, 2012).

En esta sección se discutirán las principales fuentes de contaminación y contaminantes presentes en el agua; en particular se describirán las principales tecnologías que se utilizan para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. Además, se abordarán algunas alternativas de tratamiento que son consideradas sostenibles.

Principales fuentes de contaminación

En el cuadro 1 se presentan los principales contaminantes del agua, así como las fuentes que los generan. La presencia de estos contaminantes en agua puede ser evaluada por medio de tres parámetros principales: a) La Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5); b) La Demanda Química de Oxígeno (DQO), y c) Los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La DBO_5 y la DQO son indicativos de la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua proveniente principalmente de las descargas de aguas residuales. La DBO_5 indica la cantidad de materia orgánica biodegradable,

en tanto que la DQO mide la cantidad total de materia orgánica. El aumento de la DQO indica la presencia de sustancias que provienen de descargas no municipales. Los SST tienen su origen en las aguas residuales y en la erosión del suelo. El incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda su capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática.

CUADRO 1. FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AGUA

Fuente	Tipo de contaminantes
Urbana	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas domésticas: detergentes, jabones, grasas, sólidos suspendidos) • Aguas negras (baños): materia orgánica • Limpieza y riego: sólidos en suspensión, detergente, materia orgánica.
Industria agrícola	<ul style="list-style-type: none"> • Plaguicidas: compuestos organoclorados, organofosforados, metales • Fertilizantes y abonos: nitrógeno, fósforo, azufre.
Industria ganadera	<ul style="list-style-type: none"> • Purines (excrementos de animales): materia orgánica.
Otras industrias	<ul style="list-style-type: none"> • Siderurgia: metales pesados • Petroquímica: hidrocarburos • Textil: colorantes • Alimenticia: materia orgánica • Energética: isótopos radioactivos. • Transformación: aceites, grasas, solventes.

Además se tienen los contaminantes llamados emergentes, que incluyen compuestos de cuidado personal, fármacos y drogas ilegales, entre otros. Actualmente éstos son desechados por los seres humanos en concentraciones muy pequeñas, por lo cual aún no entienden sus efectos, y no se cuenta con tecnología eficiente para su eliminación de las aguas, por lo que se requiere realizar una intensiva investigación al respecto para avanzar en el entendimiento de su comportamiento ambiental y así poder proponer tecnologías eficaces para su tratamiento.

Sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales

Las tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas residuales se enfocan en la eliminación de los contaminantes que alteran los parámetros de calidad del agua. A continuación se describen las de uso más común, aplicables a aguas residuales. Las aguas residuales son aquellas cuya composición es variada y proviene de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, y en

general de cualquier uso, así como la mezcla de ellas. Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales; las municipales son las manejadas en los sistemas de alcantarillado, urbanos y rurales (Conagua, 2014).

Debido a la presencia de múltiples contaminantes en el agua residual, su tratamiento consiste en un tren de tratamientos con diversas alternativas de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar contaminantes específicos en cada una de las etapas.

El cuadro 2 resume los principales tipos de tratamiento utilizados en las plantas de aguas residuales (PTAR). Inicialmente se requiere un pretratamiento y un tratamiento primario que acondicionen el agua para los tratamientos posteriores mediante la eliminación de los sólidos gruesos y suspendidos, por métodos físicos o químicos. Posteriormente un tratamiento secundario, que busca eliminar la materia orgánica; los sistemas aerobios de lodos activados son los más utilizados en este proceso, pues permiten la descomposición de la materia orgánica por microorganismos y la transforman en dióxido de carbono, agua y biomasa microbiana (lodos) que son separados mediante una decantación posterior. Los sistemas de lodos activados son altamente eficientes, pero sus principales desventajas son la energía requerida para la aireación y agitación para suministrar el oxígeno requerido, así como la generación de grandes cantidades de lodos. Por otro lado, los sistemas anaerobios o de digestión anaerobia permiten la transformación de la materia orgánica en biogás (CH_4 , CO_2 , H_2S , H_2 y otros compuestos). Con un tratamiento posterior, el biogás puede servir para la generación de energía, que es la principal ventaja de estos sistemas; mientras que entre sus desventajas se encuentran la generación de malos olores, y que requieren largos tiempos de tratamiento.

Los tratamientos terciarios suelen ser más caros que los primarios y secundarios y se usan en casos más especiales, por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias, especialmente en los países más desarrollados, o en las zonas con escasez de agua que necesitan purificar para volverla a utilizar como potable, en las zonas declaradas sensibles en las que los vertidos deben ser bajos en nitrógeno y fósforo, etcétera.

En los tratamientos primarios se puede remover hasta 60% de los sólidos suspendidos, mientras que los tratamientos secundarios pueden tener una eficiencia de hasta 90% en la eliminación de la materia orgánica (DBO_5). Los tratamientos terciarios pueden eliminar casi por completo los contenidos de nitrógeno, fósforo, patógenos y otros contaminantes.

CUADRO 2. TRATAMIENTOS CONVENCIONALES DE AGUAS RESIDUALES

Tipo	Objetivo/ descripción
Pretratamiento	<p>Eliminar sólidos gruesos, tales como palos, telas, plásticos, etcétera</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se utilizan rejillas y cribas • Decantación primaria para la eliminación de arenas y grasas por sedimentación.
Primario	<p>Eliminar los sólidos suspendidos (orgánicos e inorgánicos) mediante tratamientos físicos o fisicoquímicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sedimentación física o química mediante la adición de: <ul style="list-style-type: none"> ○ Coagulantes ($Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$ polimerizado ○ Floculantes: poliaminas, almidones, quitosano, taninos • Neutralización del pH.
Secundario	<p>Eliminar materia orgánica biodegradable mediante procesos biológicos y químicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proceso biológico aerobio de lodos activos (microorganismos) • Procesos anaerobios • Biomembranas.
Avanzado (terciario)	<p>Eliminar contaminantes particulares. Se utilizan procesos físicos y químicos para eliminar: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, patógenos, virus, compuestos orgánicos tóxicos, etcétera</p> <ul style="list-style-type: none"> • Humedales, lagunas, filtros de arenas, membranas, desinfección química (Cl_2, ClO_2), procesos avanzados de oxidación: UV, O_3, UV/O_3, UV/H_2O_2, Fotocatálisis (UV/TiO_2).

Las aguas residuales industriales tienen composiciones variadas, dependiendo de la industria de la que provienen, por lo que requieren de procesos especializados. Éstas pueden contener concentraciones extremadamente altas de compuestos orgánicos y estar limitadas en nitrógeno y fósforo, o por el contrario, contener concentraciones excesivas de nutrientes, además de contaminantes orgánicos prioritarios (tóxicos, hidrocarburos, plaguicidas), metales, o pH extremos: $2 > pH > 12$. Una comparación entre algunos valores típicos de los principales parámetros de aguas residuales municipales e industriales se presenta en el cuadro 3, donde se ilustran estas diferencias en la composición.

CUADRO 3. COMPOSICIONES TÍPICAS DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y ALGUNAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Origen del agua	pH promedio	Sólidos suspendidos (mg L ⁻¹)	BOD5 (mg L ⁻¹)	DQO, (mg L ⁻¹)	NT (mg N L ⁻¹)	P total (mg L ⁻¹)	Salinidad (g L ⁻¹)
Municipales	6-8	100-350	110-400	250-1 000	20-85	4-15	< 0.5
Cervecería	3.3-7.6	500-3 000	1400-2000	815-12 500	14-171	16-124	
Lácteos (quesos)	5.2-11.3	350-1 082	709-10 000	189-20 000	14-450	37-78	0.5
Lácteos	2-11	100-300	166-477	470-820	25-45	17-21	0.05-0.7
Rastros	8.2-12	56-70	140-840	70-3 200	27-42	5-7	
Alimentos	2.6-3	40-110	7 000-8 000	20 000-22 000	4-6	22-25	30-150
Mecanizado de materiales metálicos (fluidos de corte)	9		1 500-11 400	5 300-40 000	160-440	28-77	
Papel y pulpa	6.6-10	21-1 120	77-1 150	100-3 500	1-3	1-3	≈0.05
Curtiduría	8-11	2 070-4 320	1 000-7 200	3 500-13 500	250-1 000	4-107	6-40
Textil	4.5-10.1	20-210	700-1 650	1 900-100 000	14-72	1-18	0.5-0.9
Vinícola	3.9-5.5	170-1 400	210-8 000	320-27 200	21-64	16-66	0.1-1

Adaptado de A. Bielefeldt (2009).

TN: Nitrógeno total.

Según el último reporte estadístico de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), en 2013 en México se contaba con 742 plantas potabilizadoras en operación, con un caudal potabilizado de 94.79 m³/s; un total de 2 287 PTAR municipales en operación, las cuales trataron 105.9 m³/s, es decir 50.2% de los 211.1 m³/s recolectados, y 57.32% de ellas usaron como tratamiento secundario, sistemas de lodos activados; un total de 2 617 PTAR industriales en operación trataron 60.7 m³/s (Conagua, 2014). Dichos tratamientos deben cumplir con las normas oficiales mexicanas, que establecen los diferentes límites para los parámetros de calidad del agua, dependiendo del destino final del agua tratada: reúso, riego o descargas en cuerpos de agua (ríos, lagunas, etcétera).

Tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas residuales

Los sistemas convencionales descritos en la sección anterior son sistemas con altos costos de inversión, operación y mantenimiento, ya que en general son diseñados para tratar altos caudales de aguas provenientes de las ciudades e industrias, conocidos como sistemas centralizados. La puesta en marcha de estos sistemas plantea grandes dificultades en países en vías de desarrollo, por lo que las tecnologías sostenibles de bajo costo se convierten en una alternativa viable (Tecspar, 2016).

El enfoque sostenible e integral del manejo de los recursos hídricos incluye tres grandes premisas: a) captación, b) tratamiento sostenible y c) reúso. Las tecnologías sostenibles para el tratamiento del agua se basan en procedimientos naturales de depuración que no requieren de aditivos químicos. Eliminan las sustancias contaminantes usando vegetación acuática, el suelo y microorganismos (Tecspar, 2016). Los humedales construidos son sistemas de depuración naturales donde los procesos de descontaminación son ejecutados simultáneamente por componentes físicos, químicos y biológicos. Su desventaja es que requieren de una superficie de tratamiento entre 20 y 80 veces superior a las tecnologías convencionales, por lo que su aplicación es generalmente en zonas rurales (Tecspar, 2016).

Por otro lado, el reúso de las aguas tratadas es de especial interés, ya que pueden ser incorporadas para usos municipales, industriales, agrícolas, recreativos, y principalmente para la recarga de acuíferos. Finalmente, las principales acciones para la gestión sostenible del agua deben basarse en el ahorro, el reúso y la no contaminación del agua.

Una visión alternativa para el tratamiento de aguas debe incluir la descentralización de las plantas de tratamiento, un cambio en el tipo de procesos que se emplean, realizarse a una menor escala y con un costo menor a mediano y largo plazos; además debe incluir varios tipos de reúso e involucrar a los usuarios (Lahera Ramón, 2010). Un ejemplo de estos sistemas alternativos con reúso de agua es el sistema de una unidad residencial de tratamiento de aguas que incluye la separación de drenajes en aguas grises (provenientes de lavabos, regaderas y fregaderos) y aguas negras (provenientes del inodoro), y la captación de agua pluvial. Las aguas grises provenientes del primer uso se tratan (con desarenadores, aeración y desinfección) y son utilizadas, en el segundo uso del agua, para inodoros, lavado de autos y patios; después de este uso, como aguas negras pasan a un sistema de tratamiento (remoción de sólidos, digestión anaerobia, aireación) para poder ser utilizadas en un tercer uso, el riego de áreas verdes (Lahera Ramón, 2010).

2. Tecnologías para el control de la contaminación de suelos

Principales fuentes de contaminación

La contaminación de suelos se presenta principalmente por fuentes discretas o difusas (Mirsal, 2008). Las primeras se refieren a las actividades industriales puntuales de gran tamaño, como son la industria minera, la petroquímica, la química general, agroquímica, termoeléctrica, metalúrgica, siderúrgica, pinturas, textiles, automotriz, electrónica, papel, cemento, entre muchas otras (Volke y Velasco, 2002). Mientras que las segundas se refieren a una serie de actividades industriales pequeñas, numerosas y dispersas, que no pueden ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales, pero que en conjunto pueden generar una cantidad importante de contaminantes en una región, por ejemplo el uso de agroquímicos y plaguicidas, las tenerías, gasolineras, talleres mecánicos, etc. (Volke y Velasco, 2002).

Entre las principales causas de contaminación de suelos por estas fuentes se encuentran: *a)* La disposición inadecuada de residuos peligrosos en terrenos baldíos, bodegas, almacenes y patios de industrias; *b)* fugas de materiales o residuos peligrosos de tanques y contenedores subterráneos, tuberías y ductos, así como de alcantarillados y drenajes, industriales o públicos; *c)* Lixiviación de materiales en sitios de almacenamiento y donde se desarrollan actividades productivas, o bien de rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto; *d)* Derrames accidentales de sustancias químicas durante su transporte; *e)* Aplicación de sustancias químicas potencialmente tóxicas en el suelo, instalaciones y edificaciones, y *f)* Descarga de aguas que contienen residuos peligrosos y sustancias químicas potencialmente tóxicas, sin tratamiento previo (Semarnat, 2014).

Es cierto que la actividad industrial es una fuente importante de contaminación, pero también es cierto que esta actividad desempeña un papel significativo en el desarrollo económico y social de nuestro país, al aportar empleos, bienes y servicios. En este sentido, la tendencia internacional para disminuir las emisiones contaminantes de este tipo de fuentes está dirigida a la adopción de tecnologías más limpias mediante el uso de energías renovables, como la solar o la eólica, entre otras, y la implantación de medidas cada vez más efectivas para mejorar sus procesos de producción y minimizar sus residuos. Asimismo, las disposiciones regulatorias (leyes, reglamentos y normas) establecen medidas a seguir para lograr un manejo seguro de los residuos a fin de prevenir riesgos, a la vez que fijan límites de exposición o alternativas de tratamiento y disposición final para reducir su volumen y peligrosidad, con el objetivo de propiciar el desarrollo sustentable por medio

de la prevención, generación, valorización y gestión integral de los residuos sólidos urbanos, residuos peligrosos y residuos de manejo especial.

Residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son aquellos que se generan en casas habitación y que resultan de la eliminación de los productos que ahí se consumen: empaques, embalajes y materiales que se utilizan en las actividades domésticas; en este mismo rubro entran los residuos que provienen de actividades en un establecimiento comercial o en la vía pública, que generan residuos con características domiciliarias, así como los resultantes de la limpieza de los lugares públicos (parques, escuelas, oficinas, etc.) (LGPGR, 2003). Los RSU incluyen principalmente residuos no peligrosos o inertes, como materia orgánica (ej. desechos de comida y de jardinería), papel, cartón, vidrio, plásticos, metales y textiles, entre otros. Sin embargo, también pueden contener en pequeñas cantidades residuos no deseables, como medicamentos caducados, pilas, electrónicos (e-waste), disolventes, etc. Aunque estos últimos se consideran residuos de manejo especial con corresponsabilidad compartida con los fabricantes, la realidad es que su presencia en los RSU se debe a los malos hábitos y a la falta de infraestructura para su manejo adecuado (Semarnat/ INE, 2009).

La cantidad de RSU generados en los países de la OCDE ha aumentado considerablemente desde 1980; se estiman entre 0.4 y 0.8 ton/ año/ persona. En la mayoría de los países para los cuales se dispone de datos, el aumento de la riqueza es asociada con el crecimiento económico y los cambios en los patrones de consumo, los cuales tienden a generar mayores niveles de residuos por persona (UNEP, 2012). La cantidad y composición de los residuos municipales destinados a la disposición final dependen de las prácticas nacionales de gestión de residuos. A pesar de las mejoras en estas prácticas, sólo unos pocos países han logrado reducir la cantidad de residuos sólidos para su posterior eliminación (UNEP, 2012). En México, los grandes volúmenes de residuos sólidos urbanos que se generan diariamente deterioran el entorno ambiental; esto tiene que ver con el escaso manejo integral que reciben y con su mala disposición final.

Por otro lado, la complejidad de los residuos aumenta cuando se conjuntan diversos tipos de residuos, ya que muchos países no poseen la infraestructura para hacer frente a estas corrientes de desechos cada vez más complejas. Por ejemplo, los componentes biodegradables actualmente representan casi 50% de los RSU, mientras que los residuos electrónicos representan entre 5 y 15% que, como ya se mencionó, requieren de manejo especial para su traslado y disposición final, pues al estar mezclados dificultan estas labores.

El manejo integral de los RSU, que consiste en su recolección, traslado, tratamiento y disposición final, es responsabilidad de las autoridades municipales, y en el caso de México está claramente establecido en la Ley (LGPGIR, 2003). Sin embargo, los procesos de mitigación y aprovechamiento sustentable de los RSU (cuadro 4) es responsabilidad compartida de todos los generadores, de los diferentes niveles de gobierno y de las empresas privadas involucradas. Por otro lado, la experiencia generada en países como Japón, Estados Unidos, Alemania, entre otros, indica que el aprovechamiento sustentable de los RSU es parte importante del desarrollo sostenible de un país, debido a que los residuos pueden ser reutilizados o empleados para generar subproductos con valor agregado (nuevos materiales o energía) (Semarnat/INE, 2009); en este caso está la recuperación de vidrio, papel y plástico para ser reutilizados; el reciclaje de las botellas de plástico PET para generar textiles; el uso de fracción orgánica de la basura para generar composta (proceso aerobio) o biogás (proceso anaerobio); el uso de los residuos de alto contenido calorífico (papel, plástico, madera, textiles, etc.) para generar energía eléctrica por medio de la incineración; entre otros procesos. En este sentido, el aprovechamiento sustentable de los RSU se vuelve significativo en nuestro país, donde la proyección de la generación de los RSU para 2020 será de 120 000 toneladas diarias (Avedoy Gutiérrez, 2006).

CUADRO 4. PROCESOS DE MITIGACIÓN
Y APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LOS RSU

Proceso	Definición
Reducción	Mitigación del origen del residuo. Evitar el consumo de productos de tiempo de vida útil corto.
Reutilización	Empleo de un producto para el mismo fin u otro similar.
Reciclado	Es la transformación de los residuos en un proceso de producción para su fin inicial o para otros fines. Así, los residuos se convierten en materia prima de otros procesos industriales.
Valorización	Permite el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos, sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente.
Tratamiento de la fracción orgánica de los RSU	Para este tipo de residuos se consideran dos tipos de procesos biológicos, los cuales son el compostaje y la digestión anaerobia. En el primer caso se pueden generar productos inocuos (composta madura) que se pueden utilizar como abono, mientras que en el segundo caso se puede producir biogás (mezcla gaseosa de metano y dióxido de carbono) que puede ser utilizado como fuente de energía.

Semarnat/ INE, 2009.

Al igual que en los sistemas de tratamientos de aguas residuales, las principales opciones para la eliminación de materia orgánica son los tratamientos biológicos aerobios y anaerobios. En particular, los sistemas de compostaje son los más utilizados para el tratamiento de los RSU orgánicos. Este proceso consiste en cuatro etapas: 1) Mesofílica (15 a 45 °C), en la que los microorganismos (bacterias y hongos) se adaptan al medio y degradan las sustancias fácilmente asimilables en un periodo de aproximadamente una semana; 2) Termofílica (45 a 65 °C), en esta etapa se acelera la actividad biológica microbiana, propiciando una mayor degradación de materia orgánica y mayor generación de calor que permite la eliminación de gérmenes patógenos, larvas y semillas indeseables durante un periodo de no más de dos semanas; 3) Enfriamiento (65 a 15 °C), con el agotamiento de la materia orgánica, la actividad biológica disminuye, dando lugar a un descenso progresivo de la temperatura y a la aparición de hongos mesófilos que continúan el proceso de descomposición final de sustancias orgánicas simples. Esta etapa puede durar de una a dos semanas; 4) Maduración, en esta última etapa se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus, lo cual puede durar varios meses. En esta etapa la composta presenta un color oscuro y su aspecto es homogéneo y grumoso, lo que indica la finalización del proceso de compostaje (Velasco y Volke, 2003; Rodríguez y Córdoba, 2006).

El otro proceso para el tratamiento de RSU orgánicos es la digestión anaerobia, que consiste en cuatro fases: a) hidrólisis, b) acidogénesis, c) acetogénesis y d) metanogénesis, en las que participan diferentes tipos de bacterias (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991) y que se describen a continuación. La hidrólisis es el primer paso para la degradación anaerobia de sustratos orgánicos complejos (carbohidratos, proteínas y lípidos). Como resultado se producen compuestos solubles de diferentes oligosacáridos, azúcares, alcoholes, aminoácidos y ácidos grasos. Generalmente esta fase es la etapa limitante (lenta) de todo el proceso; en este periodo existe un agotamiento del oxígeno del aire atrapado en el sistema. En la acidogénesis, segunda fase, los materiales orgánicos simples son fermentados a ácidos grasos volátiles (AGV), alcoholes, cetonas, aldehídos, agua, acetato, dióxido de carbono e hidrógeno, por la acción de las bacterias acidogénicas; durante esta fase se produce una disminución importante de pH. En la tercera fase, acetogénesis, los AGV de cadena corta y los alcoholes son transformados en acético, hidrógeno y dióxido de carbono mediante la acción de microorganismos acetogénicos; en esta etapa la formación de acetato representa 70% de la DQO inicial. Finalmente, la cuarta fase, metanogénesis, es donde las bacterias metanogénicas producen metano principalmente a partir de acético, hidrógeno y dióxido de carbono. El producto final es una mezcla gaseosa llamada biogás, que puede contener hasta 55 %

de metano, 40% de dióxido de carbono y pequeñas proporciones de otros compuestos (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno) (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991).

Residuos peligrosos

Los residuos peligrosos (RP) se definen como aquellos que ponen en peligro la salud humana o el medio ambiente cuando son manejados en forma inadecuada, y poseen una o más características CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico-Infecioso), así como los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados (NOM-052-Semarnat-2005). Los RP son generados a partir de una amplia gama de actividades industriales, agricultura, hospitales, comercios, servicios, consultorios médicos y veterinarios, etc., así como de algunas actividades domésticas. Entre los principales residuos peligrosos generados se encuentran los solventes, lodos, escorias, sustancias corrosivas, aceites gastados, catalizadores, cultivos y cepas, sangre, entre otros (Avedoy Gutiérrez, 2006).

Los riesgos al medio ambiente y a la salud causados por los residuos peligrosos son un foco de atención, no sólo en México sino en el ámbito mundial, que ha propiciado la generación de disposiciones regulatorias que establecen pautas de conducta a evitar y medidas a seguir para lograr dicho manejo seguro a fin de prevenir riesgos (Semarnat/ INE, 2009). El manejo integral de los residuos peligrosos es responsabilidad del generador. Sin embargo, los generadores de RP pueden contratar los servicios de terceros para manejar sus residuos (empresa o gestores autorizadas por la Semarnat), en este caso la responsabilidad la adquiere la empresa contratada para realizar la prestación de los servicios de una o más de las actividades de manejo integral de residuos, como son las actividades de acopio, transporte, reutilización, coprocesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, y la disposición final (Semarnat/ INE, 2009).

En este sentido, el manejo integral de los RP requiere de un equilibrio entre la generación y el manejo adecuado de los RP, para lo cual se requiere promover programas de formación de recursos humanos en las instituciones de educación superior a fin de formar profesionistas que puedan participar efectivamente en los procesos de control (reingeniería de los procesos productivos para minimizar la generación de RP en la fuente) y en el tratamiento de los residuos peligrosos. Asimismo, se requiere de políticas públicas para incentivar el desarrollo científico y tecnológico en esta materia y propiciar inversiones en la estructura faltante para satisfacer la demanda actual (Avedoy Gutiérrez, 2006).

En el cuadro 5 se presentan algunas alternativas de tratamiento de residuos peligrosos con el fin de modificar sus propiedades físicas y químicas, así como de disminuir su volumen, inmovilizar sus componentes tóxicos o detoxificarlos antes de su disposición final (Freeman, 1989).

En el cuadro 5 se presentan algunas alternativas de tratamiento de residuos peligrosos con el fin de modificar sus propiedades físicas y químicas, así como de disminuir su volumen, inmovilizar sus componentes tóxicos o detoxificarlos antes de su disposición final (Freeman, 1989).

CUADRO 5. MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Físicos
Adsorción en resinas, centrifugación, cristalización, diálisis, destilación, electrodiálisis, electroforesis, evaporación, extracción de orgánicos líquido-líquido o solido-líquido, filtración, floculación, intercambio iónico líquido, ósmosis inversa, sedimentación, solidificación, ultrafiltración, otros.
Químicos
Calcinación y sinterización, catálisis, clorinólisis, descarga de microondas, electrólisis, fotólisis, hidrólisis, neutralización, oxidación, ozonización, precipitación, reducción, otros.
Biológicos
Compostaje, digestión anaerobia, lodos activados, lagunas de aireación, lagunas de estabilización, tratamiento enzimático, otros.
Térmicos
Esterilización, gasificación, incineración, pirólisis, otros.

El tratamiento de los RP se lleva a cabo comúnmente por procesos fisicoquímicos, ya que los procesos biológicos se ven inhibidos por la toxicidad de las sustancias y sus concentraciones, mientras que los procesos térmicos, como ya se mencionó, son por lo general más costosos. A continuación se describen brevemente los procesos fisicoquímicos más importantes y el principio que utilizan (Freeman, 1989).

- *Precipitación química.* Es un proceso por el cual una sustancia soluble se convierte en insoluble por una reacción química, y pueden separarse por sedimentación y/o filtración. Los agentes químicos que se utilizan para este tratamiento son: sulfuros, fosfatos, hidróxidos, carbonatos, entre otros. Por otro lado, la coagulación y floculación se emplean principalmente para precipitar metales pesados de corrientes acuosas mediante la adición de sales inorgánicas y/o polímeros orgánicos sintéticos de alto peso molecular.
- *Solidificación/ estabilización (S/ E).* Es un tratamiento en el que los residuos se mezclan con aditivos para inmovilizar los contaminantes, disminuyendo o eliminando la lixiviación. La solidificación se refiere

a las técnicas que encapsulan (atrapan físicamente) al contaminante para formar un material sólido, mientras que la estabilización limita la solubilidad o la movilidad del contaminante. La S/E se puede realizar por la adición de materiales, como cemento portland, cal o polímeros, que aseguren que los constituyentes peligrosos se mantengan en su forma menos móvil o tóxica.

- Los sistemas de oxidación química llevan a cabo una reacción de oxidación-reducción entre un agente oxidante y el contaminante, para transformarlo en un compuesto no peligroso. Los compuestos orgánicos alifáticos y aromáticos peligrosos, nitrogenados, sulfurados y cianurados pueden ser tratados mediante esta técnica usando agentes oxidantes como el hipoclorito de sodio, el permanganato de potasio, el peróxido de hidrógeno y el ozono, entre otros.
- La hidrólisis es la ruptura molecular de un compuesto por la adición de iones hidrógeno e hidroxilo del agua, con la consecuente formación de dos o más moléculas simples que pueden ser degradadas más fácilmente. La hidrólisis puede ser ácida o básica.
- El proceso por el cual los residuos con características corrosivas son tratados con ácidos o bases según sea el caso, para convertirlas en sales y agua eliminando de esta manera sus características corrosivas, se conoce como neutralización.
- La destilación es un proceso de separación de uno o más materiales volátiles, de otros que son menos volátiles, mediante un proceso de evaporación y condensación. En este proceso los componentes con la mayor presión de vapor se concentrarán más en la fase vapor que los que tengan menor presión de vapor. Si la fase vapor se enfría y forma un líquido, el resultado será una separación parcial de los componentes (p. ej. separación de mercurio de residuos mineros).
- La electrodiálisis es un proceso electroquímico de separación que utiliza membranas. La unidad de electrodiálisis usa una membrana que retiene o transmite, en forma selectiva, moléculas específicas. Por medio de la membrana se aplica un potencial eléctrico que proporciona fuerza motriz para la migración de iones.

Suelos contaminados

La problemática asociada a la contaminación de suelos por residuos tiene dos grandes líneas; la primera, referente a la prevención de la contaminación proveniente de actividades antropogénicas, anteriormente mencionadas, y la segunda, que se deriva de la afectación de suelos contaminados por un mal manejo integral de los residuos y que requiere una restauración ambiental; este último punto es el de mayor costo social y económico, por el riesgo ambiental y de salud que puede ocasionar un sitio contaminado.

Entre 2008 y 2013 se identificaron en México 627 sitios contaminados por emergencias ambientales, mientras que los pasivos ambientales registrados en 2013 fueron de 587 sitios (Semarnat, 2014). Por tanto, el suelo es la matriz ambiental que tiene la mayor afectación en primera instancia en estos sitios contaminados (Semarnat, 2014).

En el cuadro 6 se presentan algunas de las tecnologías de remediación más utilizadas para tratar suelos contaminados clasificados por tipo de tratamiento (Van Deuren *et al.*, 2002; Volke y Velasco, 2002).

CUADRO 6. TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS

Físico
Electroremediación; extracción de vapores, lavado de suelos, inundación de suelos, solidificación/ estabilización; otros.
Químico
Reacciones de óxido-reducción (Redox), procesos de oxidación avanzada (POA), fotocatalisis, otros.
Biológico
Bioaumentación, bioestimulación, biolabranza, biorreactores, bioventeo; composteo, fitoremediación, otros.
Térmicos
Desorción térmica, incineración, pirólisis, vitrificación, otros.

Algunos de los tratamientos fisicoquímicos descritos para RP son aplicables también a suelos contaminados; por ejemplo, las reacciones de óxido-reducción donde se aplican agentes como hierro cero valente, permanganato, peróxido de hidrógeno, ozono, proceso fenton, entre otros. Las tecnologías de biorremediación para sitios contaminados son atractivas ya que son efectivas, de bajo costo de instalación y operación, y tienen un mínimo de riesgos para la salud, entre otras ventajas (Volke y Velasco, 2002). A continuación se describen algunas de ellas.

- La bioaumentación, que consiste en la adición de poblaciones microbianas especializadas y activas que tienen la capacidad de utilizar como fuente de carbono los compuestos contaminantes y de esta manera llevar a cabo su biodegradación o biotransformación. Este tratamiento se realiza cuando los microorganismos autóctonos no son capaces de llevar a cabo la degradación del contaminante problema o son insuficientes.
- La bioestimulación implica la adición de nutrientes, donadores de electrones (compuestos orgánicos de fácil asimilación) y/o aceptores de electrones (oxígeno, sulfato, nitrato, entre otros) en el suelo con-

- taminado, con el fin de estimular la actividad de los microorganismos autóctonos y con ello acelerar la biodegradación de los contaminantes.
- La biolabranza consiste en arar el suelo contaminado, con el fin de favorecer la transferencia de aire para homogeneizar el suelo contaminado y de esta manera estimular la actividad microbiana, así como para mantener en condiciones óptimas el pH y la temperatura.
 - El bioventeo consiste en estimular la biodegradación aerobia de un contaminante por medio del suministro de aire en el sitio contaminado mediante pozos de extracción o inyección por movimiento forzado, con bajas velocidades de flujo.
 - Los biorreactores pueden usarse para tratar suelos heterogéneos poco permeables, o cuando es necesario disminuir el tiempo de tratamiento, ya que es posible combinar de manera controlada y eficientemente los factores que mejoren y aceleren la biodegradación de los contaminantes.
 - La fitorremediación es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos o sedimentos. Los mecanismos de fitorremediación incluyen: rizodegradación, fitoextracción, fitodegradación y fitoestabilización.

Referencias

- Avedoy Gutiérrez, V. (2006), *Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos*, Ciudad de México, Semarnat/ INE.
- Baker, K. H. y D. S. Herson (1994), *Bioremediation*, Nueva York, McGraw-Hill.
- Bielefeldt, A. (2009), "Industrial water treatment", en M. Schaechter (ed.), *Enciclopedia of Microbiology*, 3a. ed., Elsevier, pp. 569-586.
- Conagua (2014), *Estadísticas del agua en México*. Recuperado el 7 de mayo de 2016, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>
- Freeman, H. M. (1989), *Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal*, 2a. ed., Michigan, McGraw-Hill Education.
- LGPGIR (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos) (2003), *Diario Oficial de la Federación*, 8 de octubre de 2003, México. Recuperado el 10 de junio de 2016, de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpggir/LGPGIR_orig_08oct03.pdf.

- Lahera Ramón, V. (2010), "Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales", *Quivera*, 12, pp. 58-69.
- Mirsal, I. A. (2008), *Soil pollution: Origin, monitoring & remediation*, 2a. ed., Berlín, Springer.
- NOM-052/ Semarnat (2005), *Norma oficial mexicana que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos*. Recuperado el 4 de febrero de 2016, de http://www.inb.unam.mx/stecnica/nom052_semarnat.pdf
- ONU (2016), *Objetivos del desarrollo sostenible*. Recuperado el 15 de marzo de 2016, de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Pavlostathis, S. G. y E. Giraldo-Gómez (1991), *Kinetics of Anaerobic Digestión: Water Science and Technology*, 24(8), pp. 35-59.
- Rodríguez, M. S y A. V. Córdoba (2006), *Manual de compostaje municipal*, Ciudad de México, Semarnat/ GTZ.
- Semarnat (2014), *Residuos: sitios contaminados*. Recuperado el 3 de abril de 2016, de http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_4_1.html
- Semarnat/INE (2009), *Guía para el cumplimiento de obligaciones contenidas en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento*. Recuperado el 3 de abril de 2016, de http://www.ecoquim.com/pdf/guia_cumplimiento_obligaciones_lpgir.pdf
- Tecspar (Red Alfa de Tecnologías Sostenibles para la Potabilización y el Tratamiento de Aguas Residuales) (2016), *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas*. Recuperado el 1 de mayo de 2016, de <http://www.unescosost.org/wp-content/uploads/2014/04/Manual-de-Tecnologias-Sostenibles-en-Tratamiento-de-Aguas.pdf>
- UNEP (United Nation Environmental Program) (2012), *Global Environment Outlook 5. Environment for the future we want*. Recuperado el 31 de mayo de 2016, de http://www.unep.org/geo/pdfs/geo5/GEO5_report_full_es.pdf

Van Deuren, J., T. Lloyd, S. Chhetry, R. Liou y J. Peck (2002), *Remediation technologies screening matrix and reference guide*, 4a. ed., Federal Remediation Technologies Roundtable, Technology Innovation Office, EPA. Recuperado el 15 de mayo de 2016, de https://frtr.gov/matrix2/top_page.html

Velasco, J. T y T. S. Volke (2003), "El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México", *Gaceta Ecológica*, 066, México, INE, pp. 41-53.

Volke, T. y J. A. Velasco (2002), *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*, Ciudad de México, Semarnat/ INE.

Ligas consultadas

<http://www.pnuma.org> (en español); <http://www.unep.org> (en inglés)

<https://espanol.epa.gov> (en español); <https://www3.epa.gov> (en inglés)

<https://www.epa.gov/remedytech/remediation-technologies-cleaning-contaminated-sites>

<http://www.who.int/globalchange/es/>

<http://www.who.int/globalchange/environment/es/>

<http://www.inecc.gob.mx>

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones>

<http://www.gob.mx/semarnat>

<http://www.conagua.gob.mx>

<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

https://frtr.gov/matrix2/top_page.html

<http://www.cofepris.gob.mx/MJ/Paginas/Normas-Oficiales-Mexicanas.aspx>

<http://www.cofepris.gob.mx/MJ/Paginas/Normas-Oficiales-Mexicanas.aspx>

Tecnologías para el control de la contaminación ambiental.

Parte II: contaminación del aire y gases de efecto invernadero

*Sergio Hernández Jiménez
Irmene Ortiz López*

Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes a la atmósfera relacionados con el cambio climático se deben principalmente a las actividades humanas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que más de 7 millones de muertes prematuras por año en el mundo están vinculadas con la contaminación del aire, la mayor parte con enfermedades relacionadas con la cardiopatía isquémica, el accidente cerebrovascular, la neumopatía obstructiva crónica o infección aguda de las vías respiratorias inferiores y el cáncer de pulmón (OMS, 2015). Por lo anterior, es de suma importancia adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. En ese mismo sentido, las metas establecidas por el programa de la Organización de Naciones Unidas para el desarrollo sostenible incluyen la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) y su mitigación en el ambiente (objetivo 13) (ONU, 2016). Los GEI que se encuentran regulados por el Protocolo de Kioto son: metano, dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrofluorocarburos, perfluorocarburos y sulfurohexafluoruro.

Se ha puesto especial atención a las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), ya que numerosas investigaciones han establecido que las emisiones mundiales de este GEI han aumentado casi 50% desde 1990 (UNEP, 2012). También se ha establecido que el aumento en la concentración de CO_2 en la última década fue mayor que en las tres décadas anteriores, lo que contribuyó significativamente al aumento de la temperatura de la Tierra.

Sin embargo, otros gases y partículas también tienen efectos importantes en el cambio climático, en particular el ozono troposférico, el carbono negro (hollín), el metano, y los hidrofluorocarburos, los cuales forman un grupo de contaminantes llamados forzantes climáticos de vida corta.

En este capítulo se discuten las fuentes de contaminación y las características de los grupos de contaminantes del aire, así como las principales estrategias y tecnologías de mitigación, reducción o eliminación de GEI, forzantes climáticos de vida corta y otros contaminantes del aire.

Principales fuentes de contaminación del aire

En el cuadro 1 se presenta la clasificación de los contaminantes del aire por su origen, la fuente que los emite y el tipo de compuesto contaminante. Las fuentes antropogénicas son las relacionadas con las actividades humanas y también las que más contribuyen a la liberación de contaminantes al aire. Las emisiones producidas por fuentes naturales incluyen volcanes, océanos, plantas, suspensión de suelos, emisiones por digestión anaerobia y aerobia de sistemas naturales (Cárdenas, 2003). Los contaminantes emitidos directamente a la atmósfera son llamados primarios, mientras que a los que son resultado de las reacciones con otros contaminantes, llamados precursores, se les conoce como contaminantes secundarios.

Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) comprenden una amplia gama de sustancias entre las que se encuentran diferentes tipos de hidrocarburos (alcanos, alquenos, aromáticos, halogenados, oxigenados). Algunos de ellos se pueden formar a partir de la combustión incompleta de combustibles, aunque también pueden ser emitidos a causa de la evaporación de la gasolina o mediante los gases de combustión de los vehículos automotores; igualmente pueden ser contaminantes secundarios. Los COV también se liberan a la atmósfera mediante la evaporación de solventes inherentes a actividades y procesos tales como el consumo de solventes, limpieza de superficies y equipos, recubrimiento de superficies arquitectónicas, industriales, lavado en seco, artes gráficas, panaderías, distribución y almacenamiento de gas LP, entre otros (Cárdenas, 2003).

TABLA 1. CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE CONTAMINANTES DEL AIRE

Origen		
Primario	Secundario	
Contaminantes emitidos directamente a la atmósfera.	Contaminantes que se forman en el aire como resultados de las reacciones con otros contaminantes.	
Fuentes		
Naturales	Antropogénicas	
	Fijas	Móviles
<ul style="list-style-type: none"> • Incendios. • Erupciones volcánicas. • Fugas naturales de reservas de hidrocarburos. • Emisiones de pantanos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión para generación de energía. • Actividades industriales. 	Automotores.
Tipo		
Gases y vapores	Partículas	
<ul style="list-style-type: none"> • Óxidos de azufre (SO_x). • Óxidos de nitrógeno (NO_x). • Ozono (O₃). • Monóxido de carbono (CO). • Dióxido de carbono (CO₂). • Compuestos orgánicos volátiles (COV). • Compuestos inorgánicos volátiles (CIV). • Compuestos halogenados volátiles (H-COV). 	<ul style="list-style-type: none"> • PM10, partículas gruesas, < 10 µm • PM2.5, partículas finas, < 2.5 µm • PM0.1, partículas ultrafinas, < 0.1 µm 	

Adaptado de Múgica-Álvarez *et al.*, 1997; Revah y Ortiz, 2004, y Sánchez Caraballo, 2012.

Los contaminantes del aire se clasifican en dos tipos: gases y vapores y material particulado. En el cuadro 2 se presentan los principales contaminantes de ambos tipos, sus fuentes de emisión y algunas de sus características, mientras que en la figura 1 se muestran los principales sectores productivos y las actividades relacionadas con las emisiones de contaminantes al aire.

CUADRO 2. TIPOS DE CONTAMINANTES DEL AIRE

Tipos de contaminantes		
Compuestos	Emisores	Características
Partículas		
PM ₁₀	Son formadas por abrasión, condensación o combustión incompleta.	Afectaciones severas de las vías respiratorias.
PM _{2,5}	Combustión.	La mayoría de las emisiones de carbón negro son partículas de este tipo y penetran rápidamente a los pulmones.
Gases y vapores		
COV CIV SOx NOx H-VOC	Plantas de alimentos, rastros, basureros, plantas de tratamiento de aguas, rellenos sanitarios, plantas de composteo. Fábricas; talleres de pinturas, artes gráficas y de pintura automotriz; tintorerías, imprentas, plantas de reciclado de aceite, lavado de componentes electrónicos, consumo de disolventes, almacenamiento y distribución de gasolina. Plantas de celofán y rayón, biogás, amoniaco, industrias de refrigeración y electrónicas.	Son responsables de emisiones de malos olores que se caracterizan por estar formados por muchos compuestos en muy bajas concentraciones (<1 ppm) que tienen muy bajos umbrales de detección olfativa. Algunos COV producidos por unidades industriales y de servicios son identificados como peligrosos por sus efectos en la salud.

Revah y Ortiz, 2004; Múgica-Álvarez *et al.*, 1997.

El CO₂ es un GEI que está presente naturalmente en la atmósfera como parte del ciclo del carbono de la Tierra. Sin embargo, este ciclo ha sido alterado por las actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) para la generación de energía, transporte, y en actividades industriales. Otros contaminantes como los SO_x, NO_x, CO e hidrocarburos también están asociados con la combustión en motores automotrices, principalmente.

Por otro lado se encuentran los forzantes climáticos de vida corta (ozono troposférico, carbono negro u hollín, metano e hidrofluorocarburos). El ozono es un compuesto altamente reactivo que no es emitido directamente, sino que es un contaminante secundario que es formado en la atmósfera en presencia de la luz solar y de precursores que a su vez son contaminantes del aire, como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, COV y metano (UNEP, 2016), por lo que el control de los precursores es el método más eficaz para evitar la presencia de este contaminante en la atmósfera. Sin embargo, el carbono negro es emitido por la combustión ineficiente de gran

variedad de fuentes, como los motores a diésel, las estufas para cocción de alimentos, sistemas de calefacción, y en la producción de ladrillos. El carbono negro que se encuentra en el material particulado del aire (principalmente PM_{2.5}), contribuye al calentamiento global al absorber la luz solar; además, por el mismo efecto de absorción de luz al ser depositado sobre la nieve y el hielo, los derrite (UNEP, 2011). Entre los mayores emisores de metano (CH₄) se encuentra el ganado rumiante; la agricultura, particularmente los cultivos de arroz; los procesos microbiológicos de residuos (rellenos sanitarios, estiércol y aguas residuales), y la extracción de carbón mineral, petróleo y gas natural. Se estima que las emisiones de metano tienen un efecto sobre el cambio climático 25 veces mayor que el dióxido de carbono, mientras que el impacto del metano ha sido aproximadamente tres veces mayor en los últimos 20 años (ICF, 2014). Además, el impacto del N₂O es 298 veces mayor que el impacto del CO₂ (Uprety *et al.*, 2012), y el N₂O, al igual que el CO₂, también se encuentra de forma natural en la atmósfera como parte del ciclo biogeoquímico del nitrógeno. Las actividades humanas que alteran este ciclo y aumentan la presencia de N₂O en la atmósfera son: la agricultura mediante el uso de fertilizantes; la quema de combustibles fósiles para el transporte; el manejo de las aguas residuales, y algunas actividades industriales como la producción de ácido nítrico, que a su vez se utiliza para producir fertilizantes.

Por otro lado, los hidrofluorocarburos no se encuentran de manera natural en la atmósfera y su presencia en ella se debe completamente a actividades industriales, como la manufactura de aluminio y semiconductores. También son usados como refrigerantes, solventes, retardantes de flama y propulsores de aerosoles. Los hidrofluorocarbonos fueron desarrollados como sustitutos de los clorofluorocarbonos, los cuales fueron prohibidos por el Protocolo de Montreal en 1987 debido a su efecto en la degradación de la capa de ozono en la estratósfera.

La mitigación de los efectos de los contaminantes del aire pueden ser abordados de tres formas: a) la eliminación de la fuente que los genera; b) estrategias de reducción de las emisiones; y c) mediante el tratamiento de emisiones que reduzcan o eliminen los contaminantes. En este sentido, las emisiones de contaminación del aire de las principales fuentes pueden ser eliminadas o reducidas por medio de políticas e inversiones que apoyen el uso de energías menos contaminantes y más eficientes para el transporte, la vivienda y la industria, así como mediante avances en la generación de energía, gestión de residuos municipales y prácticas agrícolas. Un sector importante para la reducción de GEI y forzantes climáticos de vida corta es el relacionado con el transporte, para el que se requieren políticas y estrategias especiales, ya que son fuentes de emisiones de COV, CO₂, PM_{2.5} y N₂O, que a su vez son precursores del ozono troposférico. A este respecto,

se requiere el cambio a “modelos de transporte limpio”, priorizando el uso de transportes activos (caminar/ bicicletas) o transportes urbanos rápidos sobre los vehículos privados en las ciudades. Los beneficios potenciales de estas políticas incluyen el incremento de la actividad física y los beneficios que tiene sobre la salud, así como la reducción de la contaminación auditiva.

Otro enfoque puede ser el uso de energía renovable o de biocombustibles, que también pueden contribuir a la reducción de emisiones de contaminantes del aire. Respecto a la agricultura, numerosas acciones que permitirían la reducción de CO_2 , CH_4 y N_2O pueden ser puestas en marcha, por ejemplo la agricultura orgánica, que es un sistema de producción que evita o excluye en gran medida el uso de fertilizantes sintéticos, plaguicidas y reguladores del crecimiento. Esta práctica puede secuestrar carbono mediante la rotación de cultivos, residuos de cosechas, estiércol de animales, abono verde y no agrícola de residuos orgánicos; y también puede reducir las emisiones de carbono al evitar el uso de combustibles fósiles que se utilizan en la fabricación de productos químicos (OMS, 2015).

Paralelo a las estrategias y políticas para la eliminación y reducción de las fuentes de emisión de los contaminantes se encuentran las tecnologías diseñadas para controlarlos (reducirlos o eliminarlos) cuando son emitidos, y que son de vital importancia para mitigar el deterioro del ambiente. En las siguientes secciones se describen las principales tecnologías de mitigación, control o eliminación de COV, CO_2 , y de algunos de los forzantes climáticos de vida corta.

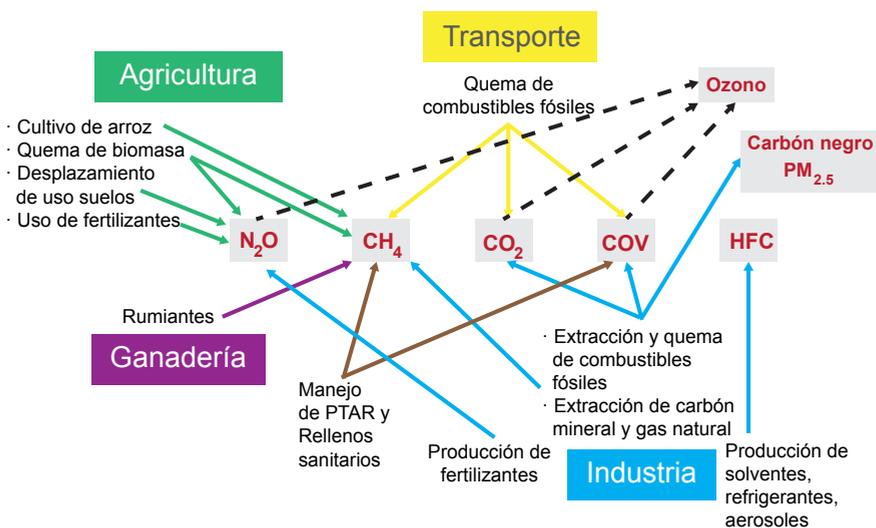


Figura 1. Actividades humanas por sector, con emisiones de contaminantes al aire

Tecnologías para control de emisiones contaminantes al aire

Tecnologías para control de emisiones de COV al aire

Entre las tecnologías que existen actualmente para la eliminación de COV del aire se encuentra la adsorción, la absorción, el lavado químico, la oxidación térmica, catalítica y avanzadas, la condensación, las membranas, y los sistemas biológicos (biofiltros). La descripción del principio que utiliza cada una de ellas y sus principales características se encuentran en el cuadro 3, aunque las tecnologías de tratamiento biológico son reconocidas como las mejores opciones para el tratamiento de ciertas corrientes de aire contaminado; por ejemplo para el tratamiento de malos olores de origen orgánico y moléculas altamente biodegradables que se encuentran diluidas y en condiciones ambientales. Los sistemas biológicos tienen bajos costos de inversión y operación y son fáciles de operar así como energéticamente eficientes (Revah y Ortiz, 2004). Es importante resaltar que en la UAM-C existe un grupo de investigación con reconocimiento internacional en el área de la biofiltración.

CUADRO 3. TECNOLOGÍAS DE ELIMINACIÓN DE COV

Tecnología	Principio	Características
Adsorción	Las moléculas son retenidas sobre la superficie del adsorbente por débiles fuerzas electrostáticas. Se usa principalmente carbón activado. El adsorbente debe ser regenerado (<i>in situ</i> o <i>ex situ</i>) una vez saturado.	La adsorción puede verse afectada por humedad, selectividad, temperatura, presión, y presencia de partículas.
Absorción	El contaminante es transferido del gas a un líquido absorbente por un gradiente de concentración. Las soluciones absorbentes incluyen agua, sosa cáustica, aminas y algunos hidrocarburos. El absorbente empleado dependerá de las características de solubilidad del COV a remover.	La eficiencia depende de la solubilidad del contaminante, que a su vez depende de la temperatura, la presión y el pH. Pueden ser torres de aspersión o empacadas.
Lavado químico	Proceso de absorción con reacción. Se usa para control de olores, oxidando los contaminantes con hipoclorito u otro oxidante químico. El oxidante se consume al reaccionar, por lo que es necesario agregarlo continuamente.	Se pueden generar compuestos indeseables por la oxidación química parcial. Pueden ser torres de aspersión o empacadas.

Tecnología	Principio	Características
Oxidación térmica (Incineración)	Los contaminantes son oxidados a CO ₂ y H ₂ O en quemadores entre 700 y 1 000 °C. Se requiere generalmente una corriente de combustible suplementaria. Pueden emitirse además NO _x , CO, HCl y otros COV potencialmente peligrosos.	Se utiliza cuando la concentración de vapores orgánicos es generalmente 50% menor al límite inferior de explosividad.
Oxidación catalítica	La oxidación es favorecida por un catalizador. Las temperaturas de operación se encuentran entre 300 y 450 °C. Los catalizadores típicamente utilizados en oxidación catalítica incluyen óxidos metálicos.	Para concentración menor al 25% de su límite inferior de explosividad. Partículas y ciertos compuestos como H ₂ S y HCl pueden desactivar el catalizador.
Condensación	Los contaminantes gaseosos son removidos por el cambio a fase líquida y por la separación de esta fase del gas. La condensación es generalmente inducida enfriando la corriente de gas; la eficiencia depende principalmente de la temperatura de rocío de la mezcla.	Pueden ser condensadores convencionales, refrigerados o criogénicos. Frecuentemente utilizados para compuestos concentrados y capaces de ser reutilizados en el proceso.
Membranas selectivas	El aire contaminado pasa a través de membranas selectivas, en donde los COV son selectivamente absorbidos y concentrados.	Tecnología emergente, altos costos.
Oxidaciones avanzadas	Uso de oxidantes más potentes (UV, O ₃) o de catalizadores que los generan (TiO ₂), para oxidar los contaminantes del aire.	Tecnologías emergentes, altos costos.
Sistemas biológicos	Los contaminantes son mineralizados (CO ₂ , H ₂ O, S, SO ₄ , NO _x , HCl) por medio de microorganismos que se encuentran inmovilizados o en suspensión.	Los sistemas más comunes son: biolavadores, biolavadores de lecho escurrido y biofiltros.

Revah y Ortiz, 2004; Cárdenas *et al.*, 2003.

Tecnologías de mitigación de GEI y forzantes climáticos de vida corta

Los principales esfuerzos para mitigar el calentamiento global se han centrado hasta ahora en las emisiones de CO₂. Sin embargo, una respuesta integral a la solución del problema debe incluir el control de las emisiones de metano, carbono negro, ozono y óxido nitroso, ya que reducir estas emi-

siones tendría un impacto directo a corto plazo en el cambio climático. Por ejemplo, se estima que las acciones para reducir los forzantes climáticos de vida corta podrían bajar en 50% la velocidad del cambio climático de las próximas décadas, así como considerablemente el número de muertes prematuras relacionadas con la contaminación del aire (OMS, 2015).

Captura-confinamiento de dióxido de carbono

El objetivo de la captura de CO₂ es su separación de los otros gases de combustión para evitar su emisión a la atmósfera mediante su confinamiento. Las tres principales tecnologías de captura de CO₂ se clasifican en función del punto del proceso donde se realizan, precombustión, postcombustión y oxicomustión. En el cuadro 4 se muestran las alternativas de tecnologías para cada tipo de tratamiento, así como algunas de sus características.

CUADRO 4. TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTURA DE CO₂

<i>Alternativas</i>	<i>Precombustión</i>	<i>Postcombustión</i>	<i>Oxicombustión</i>
Características	Consiste en separar el CO ₂ al salir del gasificador.	Basada en ciclos absorción/desorción química, que funcionan de manera reversible para obtener un alto contenido de CO ₂ .	Se favorece la combustión con un comburente de alto contenido en oxígeno y muy baja presencia de nitrógeno, con la finalidad de que la concentración de CO ₂ en los gases resultantes sea muy elevada.
Separación	CO ₂ /H ₂ .	O ₂ /N ₂ CO ₂ /H ₂ O	CO ₂ /N ₂
Principio empleado	Absorción química.	Separación criogénica.	Absorción química.
Procesos en desarrollo	Absorción fisicoquímica.	Ciclos de carbonatación y descarbonatación con CaO.	
	Membranas selectivas.	Membranas selectivas.	Membranas selectivas.
	Criogenia.	Generación de O ₂ renovable.	Absorción mejorada.

La precombustión requiere de sistemas previos al proceso de combustión, con la finalidad de eliminar el carbón del combustible y de esta manera evitar la formación de CO_2 , lo que implica convertir al combustible en gas de síntesis y separar el CO_2 , de tal manera que la combustión se realiza con hidrógeno (Valencia y Cardona, 2013). Por otro lado, los sistemas de postcombustión son los más empleados, dado que han sido previamente utilizados en las industrias de producción de acero, purificación de petróleo y limpieza de gas natural. Esta tecnología está dirigida a ser utilizada en las grandes fuentes de emisión, con la finalidad de incrementar la concentración de CO_2 de 12 a 15 %, a una concentración cercana a 100% (Kindelán y Martínez-Val, 2008). La oxicomcombustión está basada en una combustión altamente eficiente, para lo cual se propone la utilización de comburentes con alto contenido de oxígeno (de ahí el prefijo oxi) y muy bajos contenidos de nitrógeno (caso contrario del aire, que es el que normalmente se utiliza como suministro de O_2 y cuyo contenido de oxígeno es 21%, y 79% de nitrógeno). La finalidad de mayor contenido de O_2 y bajo contenido de nitrógeno favorece la formación de CO_2 y evita la formación de NO_x , de tal manera que facilita la siguiente etapa que es la de confinamiento directo. Por tanto, una de las ventajas de la oxicomcombustión es que el CO_2 se obtiene con elevada pureza, de modo que puede ser separado del agua con relativa facilidad en un condensador.

Los procesos postcombustión de absorción en los que se emplean compuestos químicos son los más utilizados para la captura de CO_2 . La absorción consiste en poner en contacto el CO_2 con un líquido a contracorriente, que es donde se queda retenido. La mayoría de estos procesos emplean como agentes absorbentes disoluciones acuosas alcalinas, por ejemplo alcaloaminas y carbonato potásico caliente, que reaccionan con el CO_2 , que es un gas ácido (Otero de Becerra, 2006). Las aminas más utilizadas son la monoetanolamina (MEA), la dietanolamina (DEA) y la metildietanolamina (MDEA) (Bai y Yeh, 1997), compuestos que tienen un grupo hidroxilo y otro amina: el primero permite incrementar la solubilidad en agua y el segundo es responsable de conferir la alcalinidad a la solución para permitir la absorción. Una de las principales desventajas de esta tecnología es su limitada capacidad, ya que se satura la solución alcalina y los requerimientos energéticos y de espacio son elevados.

La separación criogénica (SC) del CO_2 y el efluente gaseoso se basa en su condensación a bajas temperaturas para obtener CO_2 líquido; para ello es necesario llevar a cabo un ciclo de compresión, enfriamiento y expansión del gas. Una de las ventajas de esta tecnología es que el CO_2 obtenido en estado líquido facilita su transporte y almacenamiento; pero su principal desventaja es la cantidad de energía requerida para la realización de este

proceso. Este procedimiento se suele utilizar si se tienen concentraciones de entre 75 y 90% de CO_2 , pues no es atractivo para corrientes más diluidas.

Actualmente el uso de membranas poliméricas para eliminar el CO_2 de la combustión del gas natural a alta presión y altas concentraciones se realiza de manera comercial (Kindelán y Martínez-Val, 2008). El principio de separación por medio de membranas está basado en la selectividad de permeabilidad, que es una función directa de la solubilidad química del compuesto de interés en la membrana. Esta tecnología se considera como una solución con potencial debido a su eficiencia energética. Las membranas pueden ser de diferentes materiales: poliméricas, inorgánicas y líquidos iónicos. Por otro lado, las membranas de transporte facilitado contienen un acarreador (generalmente iones metálicos) con alta afinidad por el CO_2 por lo que favorecen su velocidad de transporte (captura).

Los sistemas híbridos de membrana y procesos de absorción se encuentran aún en la etapa de desarrollo, pero permiten reducir la dimensión de los equipos utilizados gracias al incremento de la superficie de contacto. Tal es el caso de las membranas que se usan en postcombustión, en las que los gases de combustión pasan por tubos de membrana, mientras que una solución de amina fluye del otro lado de la misma, de esta manera el CO_2 que pasa a través de la membrana es absorbido por la amina, la cual se regenera antes de ser reutilizada.

También existen membranas para el proceso de precombustión que están hechas de polímeros. Un polímero en fase de desarrollo es el polibencimidazol (PBI), cuya característica es que opera con estabilidad a 400 °C y muestra tolerancia al azufre. Otros esfuerzos están concentrados en el desarrollo de membranas líquidas soportadas; la membrana consiste en un polímero avanzado y un líquido iónico. El interés se debe a que el transporte se lleva a cabo por medio del líquido, lo que implica una ventaja desde el punto de vista de la difusión.

De manera general, es necesario mejorar la selectividad de las membranas para que el proceso sea viable; por esta razón las líneas de investigación y desarrollo incluyen una mayor selectividad y permeabilidad de la membrana, así como una disminución de los costos (Falk Pederson *et al.*, 2000).

La tecnología de ciclos de carbonatación-descarbonatación se basa en el uso de un carbonato (K_2CO_3), que al reaccionar con el CO_2 forma un bicarbonato; posteriormente se le aplica energía para regenerarlo y liberar el CO_2 . La principal ventaja de esta tecnología comparada con la absorción con aminas es la cantidad de energía requerida para la regeneración, que

es mucho menor en el caso de los carbonatos, lo cual repercute en los costos de operación (Figuerola *et al.*, 2008). Una tecnología en desarrollo consiste en el uso de K_2CO_3 mediante un catalizador (piperazina) que puede mejorar la velocidad de absorción entre 10 y 30% comparado con un sistema de absorción química con una solución de MEA al 30% (Rochele *et al.*, 2006). Otras tecnologías emergentes implican una combinación de productos y procesos que han demostrado, en el laboratorio o en el campo, mejoras significativas en eficiencia y costo. Las tecnologías emergentes van desde grandes avances en los procesos existentes hasta planteamientos muy innovadores.

Una de estas tecnologías se relaciona con la captura biológica que aprovecha de los procesos naturales (fotosíntesis), también conocida como fertilización del océano, la cual se logra adicionando partículas de hierro que favorecen el desarrollo del fitoplancton; de esta manera se incrementa la fotosíntesis y por lo tanto la captura de CO_2 , o el desarrollo con catalizadores enzimáticos que aumentan la absorción de CO_2 en el agua. Estas alternativas permitirán evitar las etapas de compresión y almacenamiento. Sin embargo aún existen diversos problemas relacionados con el cultivo de las especies involucradas, por lo que son necesarios importantes volúmenes de agua y superficies de intercambio gas-líquido, así como la alta sensibilidad mostrada ante cambios en las condiciones ambientales y de operación.

Las tecnologías de captura se complementan con el confinamiento (almacenamiento), cuyo objetivo principal es depositar y retener de manera estable el CO_2 por largos periodos. Para esto se pueden tener las siguientes alternativas:

- Almacenamiento en depósitos geológicos de CO_2 , el cual se realiza en depósitos naturales, como son acuíferos salinos, yacimientos de gas y petróleo y yacimientos de carbón de difícil explotación.
- Almacenamiento en depósitos oceánicos, el cual se realiza por medio de la inyección directa de CO_2 . Actualmente se conocen tres tipos de confinamiento de CO_2 : yacimientos de crudo y gas agotados, acuíferos salinos profundos y yacimientos profundos de carbón. El requisito es que todos deben estar a una profundidad mayor o igual a mil metros, para garantizar que el CO_2 se mantendrá en estado supercrítico (Kindelán y Martínez-Val, 2008).

Reducción, control y aprovechamiento de las emisiones de metano

Debido a la naturaleza tan variada de las fuentes de emisión de metano, las iniciativas se dividen por sector y se presentan en el cuadro 5.

CUADRO 5. ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN, MITIGACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LAS EMISIONES DE METANO

Industria de extracción de crudo y gas natural
<ul style="list-style-type: none"> • El metano que se ventila o fuga de las instalaciones de producción o procesamiento de petróleo y gas natural puede ser recuperado por medio de equipos y prácticas de gestión mejoradas que incrementan la rentabilidad de la empresa. • Las mayores oportunidades de reducir los volúmenes de emisiones se encuentran en mejorar los diversos procesos, es decir la producción, procesamiento, almacenaje y distribución del gas natural. Dichas mejoras pueden lograrse mediante el uso de sistemas secos herméticos, unidades de recuperación de vapores, monitoreo y reparación de fugas, controladores neumáticos, desecantes, mejoras en el mantenimiento de los compresores, mantenimiento y reparación de las líneas.
Extracción de carbón
<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación de los sistemas de desgasificación de las minas de carbón, el cual se puede vender a empresas de gas natural o utilizarse en el sitio como fuente de energía para el proceso. • Captura mediante sondas en el sistema de ventilación de las minas, para extraerlo de los pozos junto con el aire de ventilación.
Rellenos sanitarios y PTAR
<ul style="list-style-type: none"> • Captura mediante sistemas de recolección y utilización, para la generación de electricidad o para proporcionarle combustible a una fábrica cercana.
Ganadería
<p>Manejo y aprovechamiento de purines (estiércol)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso de biodigestores para tratar el estiércol de ganado, para la producción de metano que puede ser utilizado en la generación de electricidad, disminuyendo los costos de los combustibles o como una fuente de ingresos adicionales. • Manejo cubierto de purines <p>Prácticas de alimentación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejoras en la calidad y balance de los nutrientes. • Incremento en la digestibilidad del alimento. • Bacterias de rumen modificadas, para menor producción de metano. • Adición de agentes para mejoras en la producción. • Mejoras genéticas de los animales.
Agricultura
<p>Numerosas prácticas en la agricultura pueden mejorarse o evitarse para mitigar las emisiones de metano, entre otras:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evitar la quema de biomasa (cultivos, hierba, etcétera). • Manejo adecuado de fertilizantes nitrogenados, reducir la labranza, e intensificar la agricultura orgánica. • En el cultivo de arroz, mejorar el manejo de agua mediante el empleo de irrigación intermitente, manejo de abonos, y prácticas de cultivo anexando nuevas especies.

US Government, 2014; Karacan *et al.*, 2011; Moiser *et al.*, 1998; ICF, 2014; Uprety *et al.*, 2012.
PTAR: Plantas de tratamiento de aguas residuales

Control de las emisiones del carbón negro

Dos enfoques tecnológicos prometedores para la reducción de las emisiones de carbón negro y material particulado son la retrocolocación de filtros de partículas de diésel y la aplicación de normas más estrictas para la emisión y eficiencia de los vehículos.

Estos enfoques son relativamente sencillos y tienen el potencial de producir beneficios para la salud a muy corto plazo (en algunos casos, inmediatos), mediante la reducción de emisiones de las flotas de vehículos existentes (OMS, 2015).

Control de las emisiones de N_2O

La agricultura es la mayor contribuyente de emisiones de óxido nitroso (N_2O) a la atmósfera. Se atribuye el 62% de las emisiones globales de este contaminante a los subproductos agrícolas, incluidos los fertilizantes, su tecnología de aplicación y uso de la tierra; la quema de biomasa constituye el 26%; los procesos industriales 5.9%; la eliminación de residuos 2.3%; las fuentes residenciales y comerciales 1.5%, y el transporte 1.1% (Uprety, 2012), por lo que las medidas para la reducción de N_2O se centran más en tecnologías que ofrezcan mejoras en la práctica agrícola y ganadera, así como medidas de gestión dirigidas a una utilización del nitrógeno que permita el uso eficaz de recursos (energía, agua, alimento y nutrientes) (Uprety, 2012). En el cuadro 6 se describen algunas de ellas.

CUADRO 6. ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN, MITIGACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LAS EMISIONES DE METANO

Optimización del uso de fertilizantes

- Dado que sólo la mitad del nitrógeno adicionado es capturado de la biomasa de los cultivos y el exceso se pierde desde el sistema por lixiviación o por emisiones gaseosas, hay varias estrategias que se pueden utilizar al respecto, que además de disminuir las emisiones también pueden ofrecer beneficios económicos para los agricultores.
- Disminución de los volúmenes adicionados de fertilizantes: la urea y el nitrato de amonio ($NH_4 NO_3$) son los fertilizantes más ampliamente utilizados a escala mundial; se estiman consumos anuales de 28 y 17 millones de toneladas, respectivamente. Las emisiones de N_2O del suelo son menores con nitrato de amonio, ya que éste reduce la volatilidad de NH_3 y por ende la emisión de N_2O (Mc Taggart *et al.*, 1994), de tal manera que una reducción en las cantidades usadas significaría una disminución importante en las emisiones de N_2O . Para lograr esta reducción se han propuesto técnicas que permitan evaluar el contenido de nitrógeno, adicionando únicamente la cantidad requerida, para evitar excesos.

- La fertilización en sincronía con el crecimiento del cultivo activo reduce la pérdida de N_2O a la atmósfera.
- La colocación exacta del fertilizante en la rizósfera puede aumentar la eficiencia en la asimilación del nitrógeno.
- Las prácticas que añaden nitrógeno de manera más eficiente a los cultivos o que lo conserven dentro del sistema también pueden reducir las emisiones de N_2O .
- Cualquier práctica que refuerce el acoplamiento entre el suelo y la liberación de nitrógeno y el crecimiento de los cultivos, mejorarán la eficiencia y disminuirán la necesidad exógena de N y las emisiones de N_2O .

Otras prácticas de cultivo:

- Los cultivos cubiertos pueden evitar las pérdidas de nitrógeno residual en el suelo y reducir las emisiones de N_2O .
- Plantar árboles cerca de las orillas de los ríos permitiría evitar la emisión indirecta de las tierras de cultivo no agrícola.
- Los cambios en los cultivos rotacionales y de las praderas permanentes, en pastizales de temporal.

Medidas en la ganadería:

- El almacenamiento de residuos animales en condiciones anaerobias minimiza las pérdidas N_2O a la atmósfera y mitiga emisiones posteriores del almacenamiento.
- Medidas estructurales, como la disminución del volumen de producción y el número de animales mediante cuotas, son eficaces, pero implican el pago de impuestos por derechos de crianza de animales, o la reducción de la cuota de lácteos, por lo que resultan controversiales y difíciles de implementar.
- Una de las medidas más prometedoras para reducir las emisiones de N_2O incluyen el ajuste del sistema de pastoreo para la alimentación de ganado.

Referencias

- Bai, H. y A. C. Yeh (1997), "Removal of CO_2 Greenhouse Gas by Ammonia Scrubbing", *Ind. Eng. Chem. Res*, 36(6), pp. 2490-2493.
- Cádenas, B., S. Revah, S. Hernández, A. Martínez y V. Avedoy (2003), *Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas*, Ciudad de México, Semarnat/ INE
- Falk Pederson, O., H. Dannstrom, M. Gronvold, D. Stuksrud y O. Ronning (2000), "Gas treating using membrane gas/ liquid contactors", en *Fifth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, Cairns, Australia.
- Figuroa, J. D., T. Fout, S. Plasynski, H. McIlvried y R. D. Srivastava (2008), "Advances in CO_2 capture technology — The U.S. Department of Energy's Carbon Sequestration Program", *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2, pp. 9-20.

- ICF International (2014), *Economic Analysis of Methane Emission Reduction Opportunities in the U.S. Onshore Oil and Natural Gas industries*. Recuperado el 2 de mayo de 2016, de https://www.edf.org/sites/default/files/methane_cost_curve_report.pdf
- Karacan, C.Ö, F. A. Ruiz, M. Cotè y S. Phipps (2011), "Coal mine methane: A review of capture and utilization practices with benefits to mining safety and to greenhouse gas reduction", *International Journal of Coal Geology*, 86, pp. 121-156.
- Kindelán, J. M. y J. M. Martínez-Val (eds). (2008), *El futuro del carbón en la política energética española*. Fundación para Estudios sobre la Energía. Recuperado el 9 de marzo de 2016, de www.fundacionenergia.es
- Mc Taggart, I. P., H. Clayton y K. A. Smith (1994), "Nitrous oxide flux from fertilized grassland: strategies for reducing emissions", en J. van Ham, L. J. H. M. Jassen y R. J. Swart (eds.), *Non- CO₂ Greenhouse Gases*, Dordrecht: Kluwer, pp 421-426.
- Moiser, A. R., J. M. Duxbury, J. R. Freney, O. Heinemeyer, K. Minami y D. E. Johnson (1998), *Mitigating agricultural emissions of Methane. Climatic change*, 40, pp. 39-80.
- Múgica-Álvarez, V., M. Ruiz-Santoyo y R. Aguirre-Saldívar (1997), "Determinación de los perfiles de emisión de diversas fuentes y su aplicación en los modelos receptores", *Ecoquímica*, pp. 87-93.
- OMS (2015), *Reducing global health risks through mitigation of short-lived climate pollutants. Scoping report for policy-makers*. Recuperado el 6 de marzo de 2016, de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/189524/1/9789241565080_eng.pdf
- ONU (2016), *Objetivos del desarrollo sostenible*. Recuperado el 15 de marzo de 2016, de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- Otero de Becerra, J. (2006), *Procesos de captura de CO₂. Ambienta, Enero*, 40-47. Recuperado el 4 de febrero de 2016, de http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AM/AM_2006_51_40_47.pdf
- Revah, S, e I. Ortiz (2004), "El desarrollo de bioprocesos para el tratamiento de aire contaminado emitido por fuente fijas", en F. G. Bolívar Zapata (ed.),

Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna, México, El Colegio Nacional, pp. 625-658.

Rochelle, G., E. Chen, R. Dugas, B. Oyenakan y F. Seibert (2006), "Solvent and process enhancements for CO₂ absorption/ stripping", en *2005 Annual Conference on Capture and Sequestration*, Alexandria, VA.

Sánchez Caraballo, J. M. (2012), "Características fisicoquímicas de los gases y partículas contaminantes del aire. Su impacto en el asma", *Iatreia*, 25(4), pp. 369-379.

UNEP (United Nations Environment Programme) (2011), *Near-term climate protection and clean air benefits: Actions for controlling short-lived climate forcers*. Recuperado el 31 de mayo de 2016, de <http://www.unep.org/publications/ebooks/SLCF/>

----- (2012), *Global environment outlook 5. Environment for the future we want*. Recuperado el 31 de mayo de 2016, de http://www.unep.org/geo/pdfs/geo5/GEO5_report_full_es.pdf

----- (2016), *Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone*. Recuperado el 31 de mayo de 2016, de http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/BlackCarbon_report.pdf

Uprety, D. C., S. Dhar, D. Hongmin, B. A. Kimball, A. Garg y J. Upadhyay (2012), *Climate change mitigation. Agricultural Sector*, UNEP. Recuperado el 19 de marzo de 2016, de <http://tech-action.org/>

US-Government (2016), *Climate action plan-strategy to reduce methane emissions*. Recuperado el 25 de abril de 2016, de https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/strategy_to_reduce_methane_emissions_2014-03-28_final.pdf

Valencia, M. J. y C. A. Cardona (2013), "Aproximación conceptual a la separación del dióxido de carbono en corrientes de combustión", revista de la Facultad de Ingeniería, UPTC, 22(34), pp. 45-53.

Ligas consultadas

<http://www.pnuma.org> (en español) <http://www.unep.org> (en inglés)

<https://espanol.epa.gov> (en español)

<https://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases.html>

<http://www.who.int/globalchange/es/>

<http://www.inecc.gob.mx>

<http://www.gob.mx/semarnat>

<http://www.conagua.gob.mx>

<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

<http://centromariomolina.org>

Estudios de caso: la aplicación de los principios de química e ingeniería verdes

*Maribel Hernández Guerrero
Roxana López Simeon
Hiram I. Beltrán Conde
Gabriel Viguera Ramírez
José Campos Terán
Dolores Reyes Duarte
Georgina Sandoval Fabián*

Introducción

La conciencia ecológica de algunos de los impactos ambientales de las actividades químicas tuvo sus orígenes en los años sesenta, cuando se hizo notar el efecto que ciertos compuestos químicos causaban en los ecosistemas locales (Anastas y Zimmerman, 2003). Posteriormente, en los años setenta, se estableció la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA, por sus siglas en inglés) en Estados Unidos, la cual se encarga, entre otros tópicos en materia ambiental, de estudiar el cambio climático y de mejorar la calidad del aire, confirmar la seguridad de químicos y prevenir la contaminación para proteger la salud humana y el ambiente mediante el establecimiento de leyes y vigilando su cumplimiento (EPA Strategic Plan, 2014-2018).

Pero no fue sino hasta 1980 cuando la comunidad científica empezó a buscar nuevas maneras de prevenir los impactos ambientales. Así, durante los años ochenta y los noventa se empezó a acuñar el término Química Verde (más popular que Química Ambiental, Química Limpia o Química Benigna) (Linthorst, 2009). La Química Verde (Anastas y Warner, 2000; ACS Green Chemistry, 2016) está basada en doce principios, que se listan en el cuadro 1, y tiene como valor agregado minimizar accidentes en los laboratorios, tales como derrames y explosiones, entre otros, además de llevar a cabo un aprovechamiento integral de los recursos naturales (Gómez *et al.*, 2012).

La Ingeniería Verde, por su parte, se encarga del diseño, procesamiento y comercialización de productos, de tal modo que se contemple la sustentabilidad y se minimice la contaminación, teniendo en cuenta tanto la viabilidad económica como la eficiencia (ACS Green Engineering, 2016). En sus inicios, la Ingeniería Verde se basó en nueve principios surgidos del congreso Green Engineering: Defining the Principles, organizado en mayo de 2003 en Sandestin, Florida, del cual surgió el primer documento oficial conocido como Declaración de Sandestin (Abraham y Nguyen, 2003; ACS Sandestin Declaration, 2016). A éste posteriormente se agregaron tres principios (Anastas y Zimmerman, 2003; ACS Green Engineering, 2016), para establecer los doce principios listados también en el cuadro 1.

CUADRO 1. PRINCIPIOS DE QUÍMICA VERDE E INGENIERÍA VERDE

<i>Química Verde</i>	<i>Ingeniería Verde</i>
Prevención	Inherente más que circunstancial
Economía de átomos (eficiencia de conversión)	Prevención en vez de tratamiento
Síntesis menos peligrosa	Diseño para la separación
Diseño de químicos más benignos	Maximizar la eficiencia
Solventes auxiliares benignos	Enfoque al producto y no a insumos
Diseño para mejor eficiencia energética	Conservar la complejidad
Uso de materiales renovables	Durabilidad más que inmortalidad
Reducción de derivatizaciones	Minimizar excesos, cumplir necesidades
Catálisis	Minimizar diversidad de materiales
Diseño para degradación	Integrar flujos de materia y energía
Análisis de tiempo real (prevención de contaminación)	Diseño para después de la vida útil
Química benigna (prevención de accidentes)	Uso de los recursos renovables

El objetivo de este capítulo es presentar como ejemplos casos donde se aplican los principios de Química Verde e Ingeniería Verde. El primer caso se refiere al uso y aplicación de catalizadores biológicos (enzimas) en diferentes procesos y cómo aporta esta operación estrategias sustentables que puedan aplicarse en las diferentes industrias. El segundo bloque analiza del uso de residuos de recursos renovables para la extracción de materias primas que ayudan en la obtención de otros productos de mayor valor agregado, como es la extracción de celulosa cristalina de residuos de la industria del agar. El último caso define cómo la biotecnología ambiental enfrenta el reto de resolver problemas con principios de Química Verde mediante el uso de biopesticidas.

Uso de enzimas como catalizadores biológicos en procesos industriales

Un catalizador es un compuesto que incrementa la velocidad de transformación de una molécula en otra, sin ser destruido ni incorporado en el producto. Existen catalizadores químicos y catalizadores biológicos. Las enzimas son catalizadores biológicos, de naturaleza proteica (esto es, son proteínas), que permiten catalizar todas las reacciones que se llevan a cabo en la naturaleza, es decir todas las reacciones bioquímicas del metabolismo de los seres vivos.

En 1897, Eduard Büchner descubrió que los extractos celulares de levaduras, que no contenían células “vivas”, eran capaces de llevar a cabo la transformación del azúcar en alcohol y dióxido de carbono. Él propuso que esa enzima que encontró en las células de levadura, y a la que llamó zimasa, era la responsable de la fermentación. En 1907 fue condecorado con el Premio Nobel por sus investigaciones en bioquímica y por su descubrimiento de la fermentación no celular.

Sin embargo, las enzimas como catalizadores han trascendido no sólo por su importancia para los seres vivos, sino porque debido a sus características particulares han demostrado su capacidad para utilizarse en procesos industriales. Algunas de dichas características son su alta selectividad y su capacidad para catalizar reacciones quimio-, enantio- y regioselectivas, desarrollando una mínima formación de subproductos. Asimismo, también pueden llevar a cabo procesos en condiciones suaves de temperatura, presión y pH, lo que permite que los procesos biocatalíticos ofrezcan una alternativa medioambiental adecuada a la catálisis química convencional. Otra característica importante es su capacidad para trabajar tanto en medios acuosos como en orgánicos (Zaks y Klibanov, 1985), lo que ha abierto una nueva gama de posibilidades para la síntesis de compuestos químicos, en su gran mayoría de naturaleza hidrofóbica, mediante procesos biocatalíticos. Como ventajas finales, puede decirse que las enzimas, al ser proteínas, son biodegradables y pueden ser fácilmente producidas por medio de las nuevas tecnologías de ingeniería genética.

De esta manera, las enzimas ofrecen “soluciones verdes” para la producción de gran variedad de compuestos alimentarios, quirales y químicos finos, de interés para las industrias alimentaria, farmacéutica, agroquímica, entre otras (Schmid *et al.*, 2001; Schoemaker *et al.*, 2003), con lo que se convierten en una estrategia de la Química Verde y a la vez cumplen con sus doce principios. Si se hiciera una revisión de diferentes procesos biocatalíticos

o de propiedades de las enzimas, con la intención de ejemplificar cómo se aplica cada uno de los principios de la Química Verde, podríamos confirmar que sí es posible lograrlo.

Caso A. El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) tiene un sinnúmero de aplicaciones; entre ellas, se utiliza en la fabricación de productos químicos y de limpieza; es un agente blanqueante de pasta de papel y textiles, un combustible para cohetes, y un conocido germicida. Su mecanismo de acción se debe a sus efectos oxidantes: produce OH y radicales libres que atacan una amplia variedad de compuestos orgánicos, entre ellos lípidos y proteínas que integran las membranas celulares de los microorganismos. La enzima catalasa, presente en los tejidos, degrada rápidamente el peróxido de hidrógeno, produciendo oxígeno, que dificulta la germinación de esporas anaerobias. En general, es un potente agente oxidante que puede causar combustión espontánea cuando entra en contacto con materia orgánica o con algunos metales, como el cobre, la plata o el bronce.

Las propiedades de las enzimas, que son presentar una elevada eficiencia catalítica a temperatura y presión ambientales y pH neutro, permiten cumplir algunos principios de la Química Verde que podemos ver ejemplificados con la descomposición del peróxido de hidrógeno: La catalasa puede descomponer el peróxido de hidrógeno a una velocidad de 200 000 mol/ s por mol de enzima a 0 °C, mientras que el platino (Pt), un catalizador químico, lo convierte a 10-80 mol/ s a 20 °C (Fuentes Moyado y Díaz Guerrero, 2016).

La reacción enzimática es mucho más eficiente, con menor gasto energético que la química, y cumple los principios 9 (catálisis) y 2 (economía de átomos-eficiencia de conversión).

Caso B. La demanda de triglicéridos con ácidos grasos específicos en las posiciones 1, 2 y 3 (lípidos estructurados), con fines nutricionales (producción de margarinas y lípidos novedosos, con propiedades funcionales o nutraceuticas) y terapéuticos (sustitutos de leche materna, por ejemplo), sólo es posible utilizando catalizadores biológicos (lipasas: enzimas que sintetizan grasas y aceites) (Jala *et al.*, 2012). Esto puede conseguirse mediante la reacción de transesterificación enzimática: a) modificando la composición original de un triglicérido mediante incorporación de nuevos ácidos grasos (AG), o b) modificando la posición relativa de los ácidos grasos en la estructura del mismo (1, 3 vs. 2). Esto se debe a la capacidad de las enzimas para aceptar una amplia variedad de moléculas complejas como sustratos, mostrando una alta quimio-, enantio- y regioselectividad. Se entiende por estereoselectividad la habilidad para actuar sobre un determinado enantiómero o diastereómero en una mezcla racémica; regioselectividad es la preferencia

para actuar sobre una posición de la molécula selectivamente, y quimioselectividad, la habilidad para actuar sobre un grupo funcional.

Esta selectividad de las enzimas permite que se cumpla cabalmente el principio 1 (prevenir: evitar residuos y subproductos).

Caso C. Las enzimas como biocatalizadores que desarrollan procesos ecológicos, tienen las siguientes características: su naturaleza proteica les permite ser completamente biodegradables; las condiciones suaves de reacción en que operan requieren menos energía; sus procesos enzimáticos son típicamente ecológicos, esto es, no generan desechos peligrosos; son de origen natural y los productos fabricados con procesos enzimáticos conservan la denominación “de origen natural” (Horn *et al.*, 2012).

Lo anterior permite que los procesos enzimáticos cumplan los principios 3 (síntesis menos peligrosas), 4 y 12 (químicos inherentemente benignos para prevenir accidentes), 6 (eficiencia energética), y 10 (fácil degradación).

Caso D. Los dendrímeros poliméricos son macromoléculas sintéticas de forma arborescente (figura 1), con amplias y potenciales aplicaciones como nuevos materiales: en revestimiento, agentes activadores de superficies, catalizadores, modificadores de viscosidad, termoplásticos, materiales eléctricos, acarreadores de fármacos y agentes descontaminantes, entre otras (Carnahan y Grinstaff, 2006). Su síntesis química conlleva al menos 12 pasos con protección y desprotección de grupos químicos, utiliza solventes tóxicos y dura 144 horas. La síntesis enzimática se realiza en un solo paso, con solventes no tóxicos, y en 48 horas (Sandoval *et al.*, 2010).

Los principios de la Química Verde que se cumplen son el 5 (solventes benignos), el 6 (eficiencia energética) y el 8 (reducción de derivatizaciones).

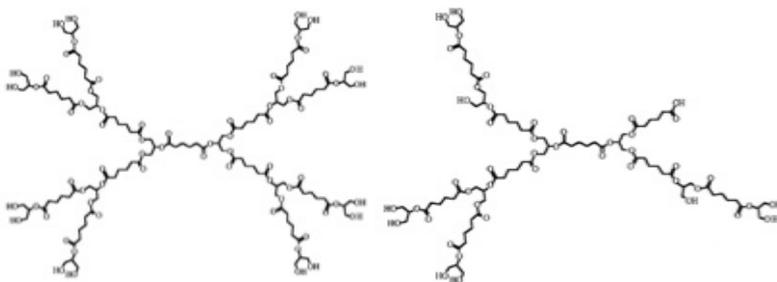


Figura 1. Posibles estructuras de dendrímeros del ácido adipico-glicerol obtenidas por síntesis enzimática con la lipasa YLL2-Lewatit. Las condiciones de reacción son: mezclas equimolares de sustratos en t-butanol, 50 °C, 48 h.

Tomada de Sandoval *et al.*, 2010, con su autorización.

Celulosa extraída de residuos de la industria del agar

Aplicando principios de química e ingeniería verde, en la UAM-Cuajimalpa fue posible obtener celulosas tipo II con diferentes propiedades fisicoquímicas a partir de muestras de residuos provenientes de la industria del agar (López-Simeon *et al.*, 2012). El agar es un polisacárido y ficocoloide obtenido de algas rojas agarofíticas fácilmente cultivables, principalmente del género *Gelidium sp.* y *Gracilaria sp.* (Santelices, 1991; Guzmán del Proo, 1993; Rodríguez *et al.*, 2009).

El agar tiene también muchos usos en la industria de alimentos, ya que es un buen modificador de viscosidad, agente gelificante, emulsificante y estabilizador; además, se utiliza en técnicas cromatográficas, en microbiología como medio de cultivo (Rodríguez *et al.*, 2009), y mezclado con otros polímeros, en empaques (Wang y Rhim, 2015). El agar es extraído de las algas a partir de un tratamiento térmico en agua, seguido de un tratamiento con ácidos (Vian Ortuño y Brusi García-Amado, 2014). Este procedimiento no degrada completamente al alga, y una vez extraído el agar de la pared interna se obtiene un residuo rico en celulosa, la cual se contiene en la pared celular externa, de ahí que este residuo se haya aprovechado para la extracción de celulosa. En este caso de estudio se utiliza una materia prima renovable que es a su vez un residuo de la industria del agar obtenido a partir de algas rojas, que son cultivadas en una zona de Baja California, México.

Debido a que las algas rojas son cultivadas, no se pone en peligro la existencia de dicha especie en su hábitat, y por lo tanto se cumple con los principios 7 de Química Verde (uso de materias primas renovables) y 12 de Ingeniería Verde (uso de materias primas renovables más que no renovables).

La extracción de celulosa de algas ha sido descrita utilizando sistemas por lotes en viales o mediante la extracción Soxhlet (Mihrianyan *et al.*, 2004; Okuda *et al.*, 2008). Sin embargo, en la UAM-Cuajimalpa se impulsó la extracción directamente del residuo. Para ello se diseñó y se configuró un sistema de extracción continua sólido-líquido, optimizando así el proceso y reduciendo el tiempo de extracción.

De manera colateral también se minimizó la cantidad de solventes utilizados a través de su purificación y recirculación *in situ*, con lo que se cumplen los principios 1 de Química Verde (prevención) y 2 de Ingeniería Verde (prevención en vez de tratamiento).

Se minimizó la generación de residuos de solventes por medio del sistema continuo de extracción sólido-líquido, con lo que se recuperó el solvente por medio de la condensación y recirculación de sus vapores.

El solvente condensado se recircula continuamente al sistema para optimizar la extracción de celulosa, siendo en sí un sistema de extracción infinita. El solvente sobrante después de la extracción se puede recuperar, destilar y reciclar, de manera que las pérdidas son reducidas.

Por otra parte, se aplica el principio 12 de Química Verde (química más segura para prevención de accidentes), ya que en el sistema continuo hay menor manipulación de químicos, lo que reduce accidentes como: derrames, así como los riesgos de explosiones e incendios. De igual manera, hay menor exposición humana por una manipulación disminuida del sistema, al ser cargado con solvente y no necesitar recambios (figura 2).

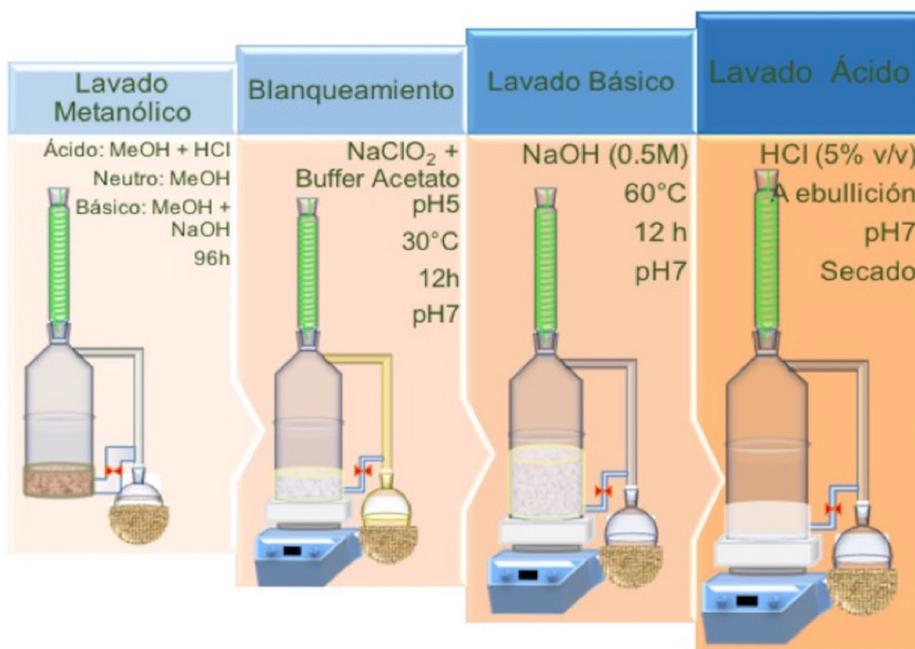


Figura 2. Sistema continuo de reacción/ extracción para la separación/ purificación de celulosa.

La separación y purificación de celulosa se diseñó y desarrolló para minimizar consumos de energía y de materiales. Al ser más eficiente la extracción, se logró disminuir el tiempo y por lo tanto el consumo de energía en 50%, con lo que se cumplió con el principio 3 de Ingeniería Verde (diseño para la separación), y se maximizó la eficiencia, principio 4 de Ingeniería Verde

(maximizar eficiencia), ya que el sistema continuo permitió aumentar los rendimientos del proceso y así obtener valores cercanos a 43%, y la eficiencia en extracción, al optimizar en 50% el tiempo necesario para hacerlo. También se optimizaron los espacios de trabajo y el uso de energía, con lo que se cumple el principio 6 de Química Verde (diseño eficiente para reducción de uso de energía). La extracción de celulosa de los residuos de la industria del agar fue conceptualizada con el fin de obtener productos de valor agregado y no sólo por la disponibilidad del residuo.

El proyecto inicial incluyó la recuperación de la celulosa para la formación de materiales de valor agregado, de manera que las muestras de residuo fueron solicitadas a la industria, por lo que se cumplió con el principio 5 de Ingeniería Verde (diseño para un fin vs. creación de necesidad por disponibilidad de un insumo). A partir de la extracción de la celulosa de un residuo, no sólo se mantuvo la complejidad de la materia prima sino que se superó, así se obtuvo un producto con alto valor agregado (celulosa nano/micro-cristalina) y se cumplió con el principio 6 de Ingeniería Verde (retener la complejidad). La celulosa cristalina posee propiedades que la hacen más manejable para la peletización o en general para la texturización, por lo que al poder obtener partículas controladas de celulosa se incrementan sus aplicaciones biológicas, químicas y en general industriales (Fechner *et al.*, 2003). La celulosa cristalina también tiene usos como agente emulsificante en la industria alimenticia, cosmética y farmacéutica, y en el diseño de materiales y empaques inteligentes, así como en materiales compuestos (Hamad, 2006).

Caso 3. Biopesticidas

La biotecnología ambiental ha sido descrita principalmente como una tecnología para la remediación del medio ambiente aplicada en el tratamiento al "final del tubo", donde las corrientes contaminadas son tratadas hasta que pueden ser reincorporadas a la naturaleza. Sin embargo, uno de los retos más interesantes de la biotecnología ambiental está en el desarrollo de tecnologías limpias para la prevención de la contaminación ambiental, aprovechando las capacidades de algunos microorganismos que biotransforman sustancias poco peligrosas en productos de diversas aplicaciones, con la característica de ser compatibles con el medio ambiente al ser fácilmente reincorporados a los ciclos naturales. Como ejemplos podemos citar:

- Los biopolímeros y biosurfactantes, que se obtienen de microorganismos y que comienzan a reemplazar a algunos productos sintéticos ya existentes;
- La utilización de enzimas que han permitido reducir el uso y emisión de sustancias tóxicas en procesos muy contaminantes;
- El control biológico

de plagas donde se utilizan microorganismos sus enzimas y/o metabolitos, para reducir o sustituir el uso de plaguicidas sintéticos.

En los últimos años se ha buscado un equilibrio entre la producción agrícola, el hombre y el ambiente. Sin embargo, el uso de plaguicidas sintéticos, algunos de los cuales han resultado ser altamente tóxicos y/o recalcitrantes, ha provocado un impacto negativo sobre los organismos presentes en el ambiente. El uso de extractos vegetales para el control de plagas ha sido una práctica ancestral ampliamente utilizada en diversas culturas y regiones del planeta. El incremento de la conciencia ambiental respecto a los problemas de contaminación y riesgo a la salud que causan los plaguicidas convencionales, ha provocado mayor demanda de biopesticidas.

Los biopesticidas están creciendo fuertemente, en tasas cercanas a 10% anual, mientras que el mercado de los pesticidas tradicionales crece únicamente a 2% anual. En el año 2000, el mercado global de pesticidas era de 24 600 millones de dólares, mientras los biopesticidas representaban 900 millones. Hoy el mercado alcanza 30 000 millones de dólares y los biopesticidas suman ya 2 000 millones de dólares. Los principales mercados para biopesticidas son Estados Unidos (748 millones de dólares), Europa (416 millones de dólares), Asia-Pacífico (281 millones de dólares) y América Latina (125 millones de dólares) (Redagricola, 2016).

Cook (1985) define al biocontrol como el uso de organismos antagonistas que interfieren en la supervivencia de patógenos. Los biopesticidas son productos de origen biológico que se usan para el control de plagas, compuestos por organismos vivos sus enzimas o metabolitos. El uso de biopesticidas permite controlar la proliferación de insectos, nemátodos u otros microorganismos patógenos de plantas que afectan a los productos durante o después de la cosecha. La especificidad de los pesticidas permite que éstos sean inocuos para mamíferos, aves u otros organismos benéficos para los cultivos (abejas, catarinas). Además, estos productos son amigables con el medio ambiente, por ser fácilmente biodegradables (Smirnoff, 1971; Krasnoff y Gupta, 1994). Algunos de los organismos utilizados como agentes de biocontrol son: bacterias, hongos filamentosos, nematodos, plantas, peces, pájaros, entre otros. Los mecanismos de acción consisten en la competencia por espacio o nutrientes, parasitismo y patogenicidad (Cook y Baker 1983). La capacidad de algunos hongos filamentosos para infectar insectos, nemátodos, plantas u otros hongos, los convierte en un grupo de gran importancia para el control biológico de diversas plagas.

Los mecanismos que tienen los hongos para infectar a su huésped son diversos y resultan sorprendentes. Roy (1993) describe que el hongo fitopatógeno

Puccinia monoica induce cambios en la planta invadida *Boechera stricta*, cuyas hojas adquieren la organización y color de las flores y en cuya superficie dulce y pegajosa crece el hongo formando esporas. Estas seudoflores atraen a los insectos polinizadores, los cuales en vez de polen, transportan las esporas del hongo a otras plantas, que son así infectadas.

Más sorprendente aún es el caso de *Ophiocordyceps unilateralis*, un hongo entomopatógeno que infecta específicamente a la hormiga carpintera *Camponotus sericeiventris*. Las hormigas infectadas cambian su conducta, abandonando el nido y subiendo a los árboles donde se aferran a las hojas con sus quijadas, a su vez el hongo sigue creciendo dentro del insecto hasta que este muere, y cuando se terminan el alimento, el hongo emerge produciendo miles de esporas que son transportadas por el viento e infectan a más hormigas (Evans *et al.* 2011).

Existen hongos más especializados que no necesitan del viento, pues producen compuestos volátiles que atraen a los insectos hacia ellos (Davis *et al.* 2013). Estudios recientes han descubierto que el hongo *Metarhizium anisopliae* produce sustancias químicas que atraen al insecto huésped, las cuales han comenzado a ser patentadas debido a sus diversas aplicaciones (Sutton 1996). Por otro lado, el problema del transporte lo tienen totalmente superado los nemátodos entomopatógenos, gusanos que son capaces de desplazarse hacia el insecto huésped.

Con base en el tipo de organismo huésped, los hongos utilizados para control biológico se clasifican en: entomopatógenos, que infectan insectos; fitopatógenos, que infectan plantas, y los micopatógenos, que infectan a otros hongos. Comercialmente destacan los siguientes géneros de hongos utilizados en control biológico: *Metarhizium*, *Beauveria*, *Trichoderma*, *Aschersonia*, *Fusarium*, *Hirsutella*, *Paecilomyces* y *Lecanicillium* (Lopez-Llorca y Jansson, 2001).

El inicio de la infección de los hongos entomopatógenos sobre el huésped se produce con la adherencia del conidio a la cutícula del insecto. En todos los casos la unidad infectiva es la espora (reproducción sexual) o la conidia (reproducción asexual). Posteriormente éste produce un tubo germinativo y un apresorio, como producto de la dilatación de la hifa. En la penetración están presentes dos procesos principales: el físico, debido a la presión de la hifa, la cual rompe las áreas membranosas esclerosadas, y el químico, resultante de la acción enzimática (proteasas, lipasas y quitinasas), lo cual facilita la penetración mecánica. A partir de la penetración se inicia el proceso de colonización, en el cual la hifa sufre un engrosamiento y se ramifica en la cavidad general del cuerpo. A partir de ese momento se forman pequeñas colonias del hongo

y otros cuerpos hifales (blastosporas). Después de la muerte del insecto, el hongo crece dentro del cadáver y todos los tejidos internos son penetrados por hifas. La colonización de los diferentes órganos se produce en la siguiente secuencia: hemocitos, cuerpos grasosos, sistema digestivo, hipodermis, sistema nervioso, músculos y traqueas. Después de 48 a 60 horas de la muerte del insecto, las hifas comienzan a emerger por el ano y boca (figura 3).



Figura 3. Hormigas granívoras infectadas por un hongo filamentoso.

La dispersión de las esporas se realiza por medio del viento, la lluvia e incluso por individuos enfermos al entrar en contacto con otros sanos. De modo similar los hongos fitopatógenos deben llegar al interior de la planta huésped, para lo cual utilizan diversas estrategias; algunos ingresan a través de heridas y aberturas naturales. En los casos de plantas intactas, el hongo utiliza estructuras especializadas, tales como apresorios, para poder penetrar, o ingresan usando enzimas que degradan la cutícula y la pared celular del huésped. La mayoría de los hongos fitopatógenos colonizan todos los órganos de la planta, como son hojas, vástagos y raíces. Algunos hongos matan a su huésped y se alimentan del tejido muerto, mientras que otros colonizan al huésped vivo, e incluso en algunos casos requieren de tejido vivo para terminar su ciclo vital. La mayoría de las plantas presentan resistencia a la mayoría de hongos patógenos, ya que poseen barreras físicas o respuesta química a señales tempranas de riesgo (Lopez-Llorca y Jansson, 2001).

Un ejemplo reciente del uso de agentes de biocontrol en México es la siembra de peces de la especie *Gambusia yucatanana* en depósitos de agua de parques públicos en Mérida, Yucatán, usados para controlar la presencia de larvas del mosquito *Aedes Aegypti*, principal transmisor de dengue, zika y chikungunya

Los principios de Química Verde y de Ingeniería Verde que se aplican en las estrategias de biocontrol y en la producción de biopesticidas son:

Principios de Química Verde: 1. Prevención; 3. Síntesis química menos peligrosa; 6. Diseño eficiente energéticamente; 7. Uso de materias primas

renovables; 8. Reducir procesos subsecuentes; 10. Diseño para una fácil degradación.

Principios de Ingeniería Verde: 2. Prevención en vez de tratamiento; 5. Diseño para un fin vs. creación de necesidad por disponibilidad de un insumo; 8. Cumplir las necesidades, minimizar excesos; 11. Diseñar para la vida futura; 12. Renovable más que agotable.

Los biopesticidas de origen microbiano tienen la ventaja de que pueden ser producidos a gran escala en biorreactores, en condiciones controladas que permitan mejorar los rendimientos. Sin embargo, también se requiere superar algunos retos, como son la optimización de los procesos de producción, aislamiento y selección de nuevas cepas con potencial uso en biocontrol. En algunos casos la velocidad de acción de los biopesticidas es lenta, y su efectividad, variable debido a la influencia de factores bióticos y abióticos, aunado esto a un bajo conocimiento de las condiciones ambientales donde se pretende aplicar. A esto se debe que exista la necesidad de desarrollar formulaciones que mejoren su efectividad en campo, así como una extensión de su vida de anaquel. También hay necesidad de desarrollar y poner en práctica estrategias para la aplicación de biopesticidas, empleando cebos, atrayentes y/o trampas, además de considerar las condiciones ambientales que favorezcan su acción, para lo cual podría ser importante instalar sensores en las trampas a fin de activar la aplicación del producto. Eventualmente se puede considerar la manipulación genética para mejorar la eficacia y ampliar el rango de hospederos, cuidando siempre los aspectos de seguridad e inocuidad. Además se requiere continuar el estudio de los procesos bioquímicos y metabolitos involucrados durante la infección, investigar el impacto ambiental de los biopesticidas, desarrollar la regulación que permita el registro de estos productos, así como generar sus pruebas de control de calidad; de ahí que resulte fundamental la participación de un ingeniero biólogo, quien debe estar capacitado para desarrollar y proponer soluciones en el campo de los biopesticidas.

Conclusiones

Estos casos muestran la importancia del diseño para la prevención de impactos ambientales y optimización de uso de materiales y energía. En la actualidad, el uso de materias primas renovables y en específico de sus residuos debe ser una prioridad, ya que asegura la sustentabilidad. Todos los procesos deben ser pensados por el producto final, el cual siempre debe ser de mayor valor que las materias primas y no exceder las características y durabilidad necesarias para su función. Estos principios no sólo aseguran

la sustentabilidad y minimización de impactos ambientales, sino que también contribuyen a la seguridad en los centros de trabajo experimentales. El diseño y la consideración de estos principios implican esfuerzo, pero vale la pena ya que asegura la preservación de condiciones ambientales adecuadas en el planeta.

Referencias

- Abraham, M. A. y N. Nguyen (2003), "Green engineering: Defining the principles", Results from the Sandestin Conference, *Environmental Progress*, 22(4), pp. 233-236.
- ACS Green Chemistry (2016), *12 Principles of Green Chemistry*. Recuperado el 16 de junio de 2016, de <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/what-is-green-chemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>
- ACS Green Engineering (2016), *12 Principles of Green Engineering*. Recuperado el 16 de junio de 2016, de <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/what-is-green-chemistry/principles/12-principles-of-green-engineering.html>
- ACS Sandestin Declaration (2016), *Sandestin Declaration: 9 Principles of Green Engineering*. Recuperado el 16 de junio de 2016, de <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/what-is-green-chemistry/principles/sandestin-declaration.html>
- Anastas, P. T. y J. C. Warner (2000), *Green Chemistry: Theory and practice*, Oxford University Press.
- Anastas, P. T. y J. B. Zimmerman (2003), "Design through the 12 principles of Green Engineering", *Environmental Science & Technology*, 37(5), pp. 94a-101a.
- Carnahan, M. A. y M. W. Grinstaff (2006), "Synthesis of generational polyester dendrimers derived from glycerol and succinic or adipic acid", *Macromolecules*, 39(2), pp. 609-616.
- Cook, R. J. y K. F. Baker (1983). "The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens", 2da ed., (p.p. 539). USA : American Phytopathological Society.

- Cook, R. J. (1985), "Biological control of plant pathogens: theory to application", *Phytopathology* 75(1), pp. 25-29.
- Davis, T. S., T. L. Crippen, R. W. Hofstetter, y J. K. Tomberlin (2013), "Microbial volatile emissions as insect semiochemicals", *Journal of chemical ecology*, 39(7), pp. 840-859.
- EPA Strategic Plan (2014-2018) (2014), FY 2014-2018, EUA, EPA, p. 80.
- Evans, H. C., S. L. Elliot, y D. P. Hughes (2011), "Hidden diversity behind the zombie-ant fungus *Ophiocordyceps unilateralis*: four new species described from carpenter ants in Minas Gerais, Brazil", *PLoS One*, 6(3), p. e17024.
- Fechner, P. M., S. Wartewig, M. Fütting, A. Heilmann, R. H. H. Neubert y P. Kleinebudde (2003), "Properties of microcrystalline cellulose and powder cellulose after extrusion/ spheronization as studied by fourier transform Raman spectroscopy and environmental scanning electron microscopy", *AAPS PharmSci*, 5(4), pp. 77-89.
- Fuentes Moyado, S. y G. Díaz Guerrero (2016), *Catalizadores: ¿La piedra filosofal del siglo XX?*, Fondo de Cultura Económica.
- Gómez-Patiño, B., R. López Simeon, S. Espinosa Domínguez, M. Hernández Guerrero, D. Arrieta-Báez, H. Beltrán Conde, J. Campos Terán y D. Reyes Duarte (2012), "Aprovechamiento de residuos agroindustriales: composición, modificación enzimática y evaluación de sus potenciales aplicaciones. Obtención Enzimática de Ingredientes Funcionales, Compuestos Bioactivos y Nutracéuticos a partir de Recursos Naturales Iberoamericanos", F. J. Plou Gasca y G. C. Sandoval Fabián, Madrid, CSIC, pp. 77-101.
- Guzmán del Prío, S. A. (1993), "Desarrollo y perspectivas de la explotación de algas marinas en México", *Ciencia Pesquera*, 9, pp. 129-136.
- Hamad, W. (2006), "On the development and applications of cellulosic nanofibrillar and nanocrystalline materials", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 84(5), pp. 513-519.
- Horn, S. J., G. Vaaje-Kolstad, B. Westereng y V. Eijsink (2012), "Novel enzymes for the degradation of cellulose", *Biotechnology for Biofuels*, 5(1), pp. 1-13.

- Jala, R. C. R., P. Hu, T. Yang, Y. Jiang, Y. Zheng y X. Xu (2012), "Lipases as Biocatalysts for the Synthesis of Structured Lipids", En: Sandoval, G.(Ed), *Lipases and Phospholipases: Methods and Protocols*, (pp. 403-433) Totowa NJ: Humana Press.
- Krasnoff, S. B. y S. Gupta (1994), "Identification of the antibiotic phomalactone from the entomopathogenic fungus *Hirsutella thompsonii* var. *synnematos*", *Journal of Chemical Ecology*, 20(2), pp. 293-302.
- Linthorst, J. A. (2009), "An overview: origins and development of green chemistry", *Foundations of Chemistry*, 12(1), pp. 55-68.
- Lopez-Llorca, L. V. y H.-B. Jansson (2001), "Biodiversidad del suelo: control biológico de nematodos fitopatógenos por hongos nematófagos", *Cuadernos de Biodiversidad*, 06, pp. 12-15.
- López-Simeon, R., J. Campos-Terán H. I. Beltrán y M. Hernández-Guerrero (2012), "Free-lignin cellulose obtained from agar industry residues using a continuous and minimal solvent reaction/ extraction methodology", *RSC Advances*, 2(32), pp. 12286-12297.
- Mihrianyan, A., A. P. Llagostera, R. Karmhag, M. Strømme y R. Ek (2004), "Moisture sorption by cellulose powders of varying crystallinity", *International Journal of Pharmaceutics*, 269(2), pp. 433-442.
- Okuda, K., K. Oka, A. Onda, K. Kajiyoshi, M. Hiraoka y K. Yanagisawa (2008), "Hydrothermal fractional pretreatment of sea algae and its enhanced enzymatic hydrolysis", *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 83(6), pp. 836-841.
- Redagrícola (2016), *Proyecciones de crecimiento de la industria de los biopesticidas*. Recuperado el 16 de junio de 2016, de <http://www.redagricola.com/reportajes/fitosanidad/proyecciones-de-crecimiento-de-la-industria-de-los-biopesticidas>
- Rodriguez, M. C., M. C. Matulewicz, M. D. Nosedá, D. R. Ducatti y P. I. Leonardi (2009), "Agar from *Gracilaria gracilis* (*Gracilariales*, *Rhodophyta*) of the Patagonic coast of Argentina -- Content, structure and physical properties", *Bioresour Technol*, 100(3), pp. 1435-1441.
- Roy, B.A. (1993) "Floral mimicry by a plant pathogen". *Nature* 362(1), pp. 56-58.

- Sandoval, G., I. Rivera, K. A. Barrera-Rivera y A. Martínez-Richa (2010), "Biopolymer Synthesis Catalyzed by Tailored Lipases", *Macromolecular Symposia*, 289(1), pp. 135-139.
- Santelices, B. (1991), "Production ecology of Gelidium", *Hydrobiologia*, 221(1), pp. 31-44.
- Schmid, A., J. S. Dordick, B. Hauer, A. Kiener, M. Wubbolts y B. Witholt (2001), "Industrial biocatalysis today and tomorrow", *Nature*, 409(6817), pp. 258-268.
- Schoemaker, H. E., D. Mink y M. G. Wubbolts (2003), "Dispelling the Myths-Biocatalysis in Industrial Synthesis", *Science*, 299(5613), pp. 1694-1697.
- Smirnoff, W. A. (1971), "Effect of chitinase on the action of *Bacillus thuringiensis*", *The Canadian Entomologist*, 103(12), pp. 1829-1831.
- Sutton, B. (1996). "A century of mycology", 1st ed. Egham, Surrey, UK. Cambridge University Press. p.p. 398.
- Vian Ortuño, Á. y J. M. Brusi García-Amado (2014), *Introducción a la química industrial*, Barcelona, Reverte.
- Wang, L. F. y J. W. Rhim (2015), "Preparation and application of agar/ alginate/ collagen ternary blend functional food packaging films", *International Journal of Biological Macromolecules*, 80, pp. 460-468.
- Zaks, A. y A. M. Klibanov (1985), "Enzyme-catalyzed processes in organic solvents", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 82(10), pp. 312-319.

Pequeñas acciones sustentables: una ruta hacia los laboratorios verdes

Maribel Hernández Guerrero

Introducción

Existen varios trabajos que se han enfocado a estudiar los impactos ambientales en las actividades de los laboratorios derivadas de la docencia e investigación (Mujica y Pérez, 2005; Lastre-Acosta *et al.*, 2011); entre las alternativas para minimizar dichos impactos se encuentran la química verde y la microescala (capítulo 18).

Por una parte, en general la química verde utiliza métodos de sustitución de químicos para efectuar la síntesis de productos con generación de residuos menos peligrosos (figura 1); para ello se basa en doce principios, los cuales fueron establecidos en los años noventa por Paul Anastas y John Warner (Alexander, 2000). El diseño de este método, con los principios de la química verde, tiene también como objetivo obtener productos con una función muy específica: que tengan baja toxicidad y que sean degradables (*Green Chemistry*, 2016). Para reducir los daños ambientales se prefiere el uso de materias primas renovables y, cuando es posible, evitar el uso de solventes, aditivos u otras sustancias de alta toxicidad. También se previene la producción de residuos adoptando técnicas de monitoreo continuo en tiempo real, para seguir las reacciones y evitar la generación de productos secundarios. La química verde lleva las reacciones a altos rendimientos, principio conocido como economía atómica. Para tener mejores rendimientos, también se eligen reacciones catalíticas, las cuales tienen mejores resultados y menor consumo de energía que las estequiométricas. Se evita la derivatización o producción de químicos en varios pasos, ya que esto implica el uso de mayores cantidades de químicos y la producción de residuos en cada paso de síntesis y purificación. Finalmente, los procesos se diseñan de modo que

se reduzca el uso de energía. De manera integral, los principios de química verde, además de ser una opción amigable con el ambiente, tienen también como resultado la disminución de accidentes en el laboratorio.



Figura 1. Resumen general de los principios de química verde

Por otra parte, la microescala (figura 2) se basa en el uso de volúmenes y cantidades pequeñas para el desarrollo de experimentos de química orgánica, inorgánica, analítica y ambiental. Fue establecida por primera vez en el Bowdoin College, en Maine, y posteriormente en el National Microscale Chemistry Center, establecido en 1999 en el Merrimack College (Massachusetts) en conjunto con la Environmental Protection Agency (EPA), el Toxics Use Reduction Institute (TURI) de Massachusetts y la National Science Foundation (NSF) (*What is microscale chemistry*, 2016). Reducir la cantidad de químicos, utilizar procedimientos más seguros y fáciles para minimizar la cantidad de residuos, evitar emisiones a la atmósfera, evitar grandes derrames, reducir riesgos y reducir espacios de almacenamiento (de residuos, reactivos y productos), son algunos de los beneficios de la microescala.

Además de la química verde y de la microescala (de las cuales se habla en el capítulo 18), existen otras medidas y acciones sustentables simples para reducir los impactos ambientales y establecer “laboratorios verdes”.

Este capítulo presenta una serie de recomendaciones y acciones simples (figura 3) que pueden ser adoptadas por los laboratorios para reducir su huella ambiental.



Figura 2. Bases y áreas de aplicación de la microescala

Dichas recomendaciones y acciones incluyen la comunicación, difusión y socialización de las bases de los “laboratorios verdes”, así como la capacitación, teniendo en cuenta que para el establecimiento de las acciones es necesaria la motivación y consciencia tanto de autoridades como de los usuarios. Por otra parte, el control de emisiones, la optimización del uso de energía, el buen manejo y reducción de residuos, las compras verdes y el uso racional del agua, representan también acciones hacia la sustentabilidad y los “laboratorios verdes”(Green labs program, 2016; *How to green your lab*, 2016).

Educación y socialización	<ul style="list-style-type: none"> ·Capacitación ·Incentivos
Control de emisiones	<ul style="list-style-type: none"> ·Campanas de extracción ·Residuos volátiles
Ahorro de energía	<ul style="list-style-type: none"> ·Iluminación ·Equipos, computadoras, refrigeradores, congeladores ·Instalaciones anexas
Manejo y reducción de residuos	<ul style="list-style-type: none"> ·Químicos verdes ·Resiclaje y compostaje
Compras verdes	
Uso racional del agua	

Figura 3. Acciones y medidas hacia los laboratorios verdes

Los denominados “laboratorios verdes” o “sustentables” no sólo mejoran la calidad ambiental sino también la seguridad, además de que representan una reducción de costos debido al uso adecuado de energía, reciclado y generación de menos residuos a tratar.

Junto a la química verde y la microescala, acciones pequeñas como las descritas en este capítulo pueden tener un impacto favorable en el ambiente.

Acciones y medidas adoptadas por los “laboratorios verdes”

Educación y socialización

Para desarrollar un esquema de “laboratorio verde” se requiere la participación de autoridades y de todos los usuarios de laboratorios. Los primeros pasos a seguir consisten en educar, comunicar, poner en funcionamiento y seguir las acciones sustentables. Se debe tener en cuenta que existe un factor humano, donde la conciencia, la responsabilidad social (individual e institucional), la actitud y la motivación de los usuarios de laboratorios sean elementos críticos. Para fomentar la motivación se pueden poner en funcionamiento programas de concientización que incluyan incentivos económicos y no económicos. Los incentivos económicos, que pueden provenir de instituciones públicas y privadas, consistirían en la asignación de presupuesto, bonos o donaciones financieras para establecer los programas y para el pago de becas para cursos de capacitación. Por otra parte, los incentivos no económicos podrían ser reconocimientos públicos presenciales, en medios impresos y/o en redes sociales y concursos.

Se debe orientar a todos los nuevos usuarios del laboratorio para poder adoptar la sustentabilidad por medio de clases y cursos de capacitación. Las guías rápidas, trípticos, videos y cápsulas, material en redes sociales y páginas web, pueden funcionar como medios para la difusión de las acciones verdes en los laboratorios. Se recomienda organizar visitas para asesorías por parte de las autoridades institucionales, o en su caso, si se busca una certificación, de los organismos certificadores, quienes recomendarán medidas correctivas y supervisarán la implantación de acciones.

Control de emisiones directas

Campanas de extracción

Las campanas de extracción en los laboratorios tienen como función principal la captación de vapores tóxicos, inflamables, irritantes y corrosivos, para controlar las emisiones directas al laboratorio y a la atmósfera. Para que las campanas cumplan óptimamente con su función deben tener filtros primarios y de carbono activado para captación de químicos, mientras que las corrientes finales deben ser tratadas antes de su emisión a la atmósfera.

Se le debe dar mantenimiento general (mecánico, eléctrico, de flujo de aire y de nivel de ruido y luminosidad) a las campanas al menos cada año, y cambiar los filtros primarios cada seis meses y los de carbono activado bianualmente. Deben estar orientadas de acuerdo a las condiciones y corrientes de aire del laboratorio. Durante su funcionamiento, debe verificarse que la guillotina funcione bien y mantenerla abierta a una altura óptima (generalmente menor a 30 cm) que permita el trabajo seguro pero que evite corrientes de emisiones hacia el laboratorio. Para un mejor y más fácil uso, la altura debe indicarse por medio de señalización. Es preciso limpiar y mantener las ranuras y orificios de entrada libres de objetos que pudieran obstruir el flujo de aire y evitar que ventiladores o equipos de aire acondicionado afecten directamente a las campanas, para asegurar su buen funcionamiento (Convención para el uso de campanas de extracción, 2016).

Residuos volátiles

La ley general para la prevención y gestión integral de los residuos y su reglamento, emitidos por la Semarnat, regulan “la generación, el manejo y disposición de residuos peligrosos para asegurar el derecho de todas las personas a vivir en un ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar” (Semarnat, 2010). Para dicha ley, los residuos son “aquellos que poseen corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad”. También se consideran residuos todos los recipientes, envases, embalajes o suelos contaminados con sustancias peligrosas. Para el control de las emisiones en el laboratorio se deben mantener cerrados todos los contenedores de residuos volátiles, y cuando sea posible, deben almacenarse en una campana de extracción. Se recomienda seguir una bitácora de generación de residuos y no almacenarlos por periodos mayores a seis meses.

Ahorro de energía

El uso de energía en los laboratorios es otro de los aspectos más importantes a considerar para reducir impactos ambientales. De acuerdo con la Agencia de Protección al Ambiente (EPA), en Estados Unidos, los laboratorios requieren hasta diez veces más energía que cualquier edificio de oficinas o salón de clases (U.S. Environmental Protection Agency, 2008).

El alto consumo de energía en los laboratorios es derivado de la iluminación, climatización, campanas de extracción y flujo laminar, funcionamiento de equipos (incluidos los de cómputo), entre otras actividades relacionadas con la investigación y la docencia en universidades.

Por otra parte, instalaciones anexas a los laboratorios, como son los vivarios o bioterios, representan un uso considerable de energía para poder preservar las condiciones de macroambiente y microambiente (control de calidad y cantidad de luz, temperatura, aire, humedad, etc.) necesarias para los animales. De igual modo, los ceparios, cuartos fríos y almacenes son instalaciones anexas que requieren de energía y que deben incluirse como parte de los consumos en los laboratorios.

A continuación se presentan algunas recomendaciones para el ahorro de energía en los laboratorios e instalaciones anexas.

Iluminación y equipos

Un buen uso de energía en el laboratorio incluye medir, optimizar y monitorear consumos, adoptar iluminación de baja energía y dar mantenimiento a equipos (Selvaggio, 2013; Energy Star Guide to EPA Laboratory Recognition by Lighting Category, 2015). Acciones simples como apagado de luces al finalizar el día y la señalización correcta para recordar apagar equipos, electrónicos y luces cuando no estén en uso; pueden reducir el consumo de manera considerable. Algunos laboratorios optan por la iluminación individual en mesas de trabajo en vez de iluminación general en techos; sin embargo, se debe preferir el uso de luz natural cuando sea posible. Para el apagado rápido de equipos que no estén en uso, se recomienda tener guías rápidas y manuales con instrucciones claras de los procedimientos de apagado. También se recomienda el uso de multicontactos para apagar equipos y sus periféricos que no se encuentren en uso. Cuando sea necesario, se pueden utilizar temporizadores. El mantenimiento preventivo a equipos para tenerlos funcionando en las condiciones óptimas también da como resultado ahorro de energía. Para optimizar el uso de energía de las campanas de

extracción debe asegurarse que las compuertas estén cerradas cuando no se usen y a nivel bajo cuando se estén utilizando.

En los laboratorios de síntesis química se puede adoptar la sonicación y el uso de microondas para producir reacciones, con lo que se cambian las reacciones efectuadas en parrillas o mantillas de calentamiento por periodos de tiempo más largos. De igual manera y siguiendo los principios de química verde (capítulo 18) podrían cambiarse las reacciones estequiométricas por las catalíticas, que por lo general no requieren de altas temperaturas y son muy eficientes.

Equipo de cómputo, refrigeradores y congeladores

Algunos de los electrónicos que consumen más energía en los laboratorios son las computadoras, los refrigeradores y los congeladores.

Las computadoras en los laboratorios pueden ser programadas para optimizar el uso de energía. En cuanto a refrigeradores y congeladores, las acciones para minimizar su impacto incluyen limpieza de motores y componentes externos, como descongelarlos de manera regular (anual o bianualmente); es importante también conservar espacios libres en los refrigeradores y congeladores, desechando muestras que ya no se utilizan. Compartir espacios de refrigeración entre laboratorios o facultades también contribuye a un menor consumo de energía.

Se deben cambiar los refrigeradores de alto consumo de energía por refrigeradores con certificación Energy Star (Required test methods for EPA recognized laboratories, 2016; Energy Star product specification, 2016), los cuales utilizan menos energía, con lo que se reduce el impacto ambiental. Existen reportes que indican que los costos por ahorro de energía en los Estados Unidos al utilizar este tipo de refrigeradores podría ser de hasta 400 millones de dólares cada año, mientras que la reducción en gases de efecto invernadero representaría 8 billones de libras al año, equivalente a las emisiones de 750 000 autos (*Refrigerators*, 2016). También es posible utilizar menor energía aumentando la temperatura de los ultracongeladores de -80 °C a -70 grados centígrados.

Instalaciones anexas

Los animales de los bioterios se utilizan con fines educativos y de investigación destinados al desarrollo de la biomedicina. El uso de animales debe ser holístico y por lo tanto regirse por principios éticos y también sustentables.

Se debe considerar que el manejo adecuado de los animales puede reducir considerablemente el uso de energía en los espacios anexos a los laboratorios. Entre las medidas que podrían adoptarse para lograr un buen aprovechamiento de los animales está su reducción al mínimo necesario, para obtener resultados confiables y el mejoramiento de las técnicas para su manejo. El conjuntar esfuerzos entre universidades, industrias y hospitales para evitar tener demasiadas instalaciones, centralizando y compartiendo espacios dentro de esquemas de colaboración, contribuye también a la reducción en el uso de energía.

Los animales pueden reutilizarse para la experimentación o docencia cuando no se comprometan los resultados experimentales. Se puede optar también por el reaprovechamiento de los animales denominados de descarte, y por reciclado, aprovechándolos como alimento de otros animales. Acciones complementarias incluyen rehabilitar y realojar a los animales en hábitats naturales o en zoológicos, siempre y cuando se cumpla con los estándares de seguridad e higiene (Red para el uso sustentable y ético de recursos animales de experimentación biomédica).

En la actualidad hay investigaciones que tienen como objetivo crear modelos de animales virtuales, como el Human Brain Project (*Ratón virtual*, 2016), o la emulación y simulación de cerebros en la disciplina llamada neurorobótica virtual (Sandberg y Bostrom, 2008). Ambas investigaciones podrían minimizar el uso de animales y por lo tanto el uso de espacios, recursos y energía en los bioterios.

Manejo y reducción de residuos

Los efectos contaminantes en los laboratorios pueden valorarse desde el momento de la compra de los insumos, reactivos y equipos, pasando por su uso y hasta su disposición final como residuos. La reducción en la generación de residuos, su buen manejo y disposición, el reciclado y compostaje, representan acciones hacia la sustentabilidad en los laboratorios.

El impacto ambiental de los residuos en los laboratorios puede disminuirse al minimizar el uso de sustancias peligrosas u optar por opciones más amigables para el ambiente. Un ejemplo se encuentra en los laboratorios biológicos, donde se puede usar GelRed/ SYBR Safe/ GelGreen, alternativa menos contaminante y peligrosa, en lugar de bromuro de etidio, cuando sea posible. Recursos como la guía del MIT de químicos y procedimientos alternativos pueden ser útiles para la reducción de residuos peligrosos (*MIT's green chemical alternative wizard*, 2010). Para disminuir la cantidad de residuos generados en los laboratorios se recomienda neutralizar residuos

ácidos y básicos cuando sea posible; mientras que para minimizar residuos de solventes pueden considerarse la recuperación por destilación o bien adquirir recicladoras de solventes. La microescala, la química verde y las simulaciones por computadora ayudan también a minimizar o eliminar los residuos y con ello el impacto ambiental.

Los residuos deben etiquetarse adecuadamente y ubicarse dentro de campanas de extracción hasta ser dispuestos y tratados; se recomienda tratarlos en un tiempo no mayor a 30 días. Se debe utilizar un inventario en donde se clasifiquen con base en su tipo, anotando la cantidad producida; hacerlo ayuda a tener un buen control y manejo de residuos. Y en general, se deben revisar periódicamente los procedimientos de manejo y disposición de residuos.

El reuso y reciclado de recursos en el laboratorio incluye a equipos que hayan agotado su tiempo de vida útil: latas, cajas de puntas, tubos cónicos, plástico en general, vidrio (viales, vidrios rotos), botellas, contenedores de reactivos, papel aluminio, baterías, unigel, cartón, papelería, sobres, materiales de empaque de equipos y reactivos (bloques de unigel, cajas, entre otros), y medios digitales como CDS, DVDS. En cuanto a los insumos electrónicos, se debe preferir el uso de discos duros o memorias USB para el manejo de información. Para evitar generar residuos de papel, cuando sea posible se debe utilizar folletería e información electrónica en vez de sus versiones físicas. Una medida útil para evitar folletería o correspondencia innecesaria es mantener actualizadas las bases de datos.

Los empaques de equipos y reactivos pueden devolverse a los proveedores para que sean reutilizados. Para ahorrar hojas, se pueden configurar las impresoras para imprimir por ambos lados, y rellenar cartuchos de tinta y de tóner para las impresoras láser. Se recomienda también desarrollar programas de compostaje de toallas de papel de uso en el laboratorio, no contaminadas con químicos, y finalmente realizar donaciones de material de vidrio y consumibles reciclados a otras instituciones de educación, cuando se considere que no se pueden utilizar en los laboratorios que realizan la donación.

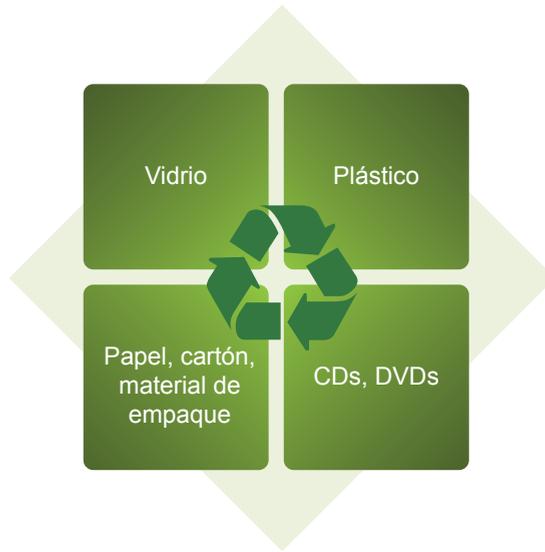


Figura 4. Materiales que se pueden reciclar en los laboratorios.

En general, se recomienda reusar y reciclar en lo posible todos los recursos de los laboratorios (figura 4).

Compras verdes

La compra y contratación de bienes y servicios para los laboratorios se debe hacer teniendo en cuenta la funcionalidad, pero también el impacto ambiental. Se llama compras verdes a la práctica de consumir bienes materiales y servicios con responsabilidad, para minimizar el impacto negativo al medio ambiente. En Europa, los esquemas de compras verdes surgieron en los años ochenta, en países como Alemania, Suecia, Dinamarca y Austria (Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco, 2014). En México se tienen líneas de acción en el Programa de Administración Sustentable (Martínez Meléndez, 2005), y en la UAM Cuajimalpa, en el Plan de Desarrollo Institucional 2012-2014, como una línea emblemática de la unidad (Plan de Desarrollo Institucional, UAM Cuajimalpa, 2012).

Para seguir el esquema de compras verdes, puede seleccionarse a las compañías que provean bienes con el menor impacto ambiental y solicitar a los proveedores que suplementen los materiales en empaques reciclados o reusados, o bien que utilicen material de relleno biodegradable (cacahuates a base de almidón biodegradable en agua o por composteo) o papel en vez de cacahuates de unicel, bolsas de plástico o papel burbuja. Se debe preferir la compra de equipos con uso de energía eficiente (p. ej. refrigeradores,

etc.) y de productos que puedan reutilizarse o reciclarse, en vez de los de un solo uso; así como la compra de toallas de papel reciclado. El material de empaque puede reutilizarse o devolverse a los proveedores para cerrar el ciclo del reciclado.

Uso racional del agua

El agua es uno de los recursos más utilizados en los laboratorios, por lo que se recomienda usarla de manera racional: reportar fugas en campanas, tarjas, llaves y conexiones a equipos que la usan para su funcionamiento. Para ahorrar agua se debe optimizar el uso del autoclave y compartir la esterilización de material cuando el equipo esté saturado, esta acción también representa un ahorro de energía. Se deben reemplazar las bombas tipo Venturi, que utilizan agua, por bombas de vacío, y usar detergentes menos contaminantes para el lavado de material, combinando su uso con sonicación para facilitar el lavado y reducir el consumo de agua.

Conclusiones

Para mantener un desarrollo sustentable y contribuir al equilibrio ambiental, el reto de los laboratorios hoy en día es optimizar el uso de energía y recursos manteniendo los estándares de seguridad y ética, para garantizar la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados en los experimentos. Con este fin, es necesario primero crear conciencia de los impactos ambientales de los laboratorios para poder reducirlos, ya que la responsabilidad social de los usuarios y su motivación son la base para poder poner en marcha acciones que lleven a mitigar el daño ambiental.

Entre las acciones a desarrollar, por una parte, se puede hacer uso de químicos menos tóxicos y pensar en el diseño para la creación de productos más específicos y, de ser posible, biodegradables, con generación de residuos menos tóxicos. Por otra parte, los esquemas de escalamiento hacia lo micro- producen menos residuos, mientras que aseguran los resultados experimentales por medio de procedimientos sencillos y seguros.

Sin embargo, otras pequeñas acciones como el control de emisiones, ahorro de energía en la iluminación, en el uso de equipos y periféricos de cómputo, y en instalaciones anexas a los laboratorios, así como el uso racional del agua, representan grandes avances hacia la consolidación de un laboratorio verde. La mejora en los procedimientos de manejo de residuos, el reciclaje y el compostaje, junto con las compras verdes, también garantizan la sustentabilidad.

Estas acciones, percibidas como actos meramente voluntarios y de responsabilidad social por parte de las instituciones e individuos, pueden ayudar a lograr la prevención y protección de daños al ambiente, así como a fomentar el uso sustentable de recursos. Los beneficios ambientales de todas estas pequeñas acciones son directos, pero a la vez crean ambientes más seguros para el trabajo y representan disminución de costos.

Referencias

Alexander, G. (2000), "Green chemistry: Theory and practice", *Chemical engineering progress*, 96(9), p. 54.

Convención para el uso de campanas o cabinas de extracción de laboratorio, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales/ Servicio de Higiene y Seguridad (s.f.). Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://www.fcen.uba.ar/shys/pdf/campanas.pdf>

Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco. (2014), *Manual práctico de compra y contratación pública verde. Modelos y ejemplos para su implantación por la administración pública Vasca*, 5ª. ed., País Vasco, IHOBE.

Energy Star guide to EPA Laboratory Recognition by Lighting Category (2015), Luminaires V2.0 Specification.

Energy Star product specification (s.f.). Recuperado el 26 de abril 2016, de <https://www.energystar.gov/products/spec>

Green Chemistry (s.f.). Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/what-is-green-chemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>

Green labs program (s.f.). Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://www.uq.edu.au/sustainability/green-labs-program>

How to green your lab (s.f.). Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://sustainability.psu.edu/live/what-faculty-staff-can-do/what-you-can-do-laboratory>

Lastre-Acosta, A. M., C. L. Isaac-Godínez, U. J. Jáuregui-Haza, Y. Blanco-López y A. Pérez-Gramatges (2011), "Identificación de riesgos

ambientales en el laboratorio de radioquímica de la facultad de ciencias y tecnologías nucleares”, *Ingeniería Industrial*, 32(2), p. 87.

Martínez Meléndez, L. A. (2005), Programa de administración sustentable, Semarnat. Recuperado el 26 de abril de 2016, de http://www.oas.org/dsd/Documents/Compras_Verdes_Mexico.pdf

MIT's Green Chemical Alternative Wizard (2010). Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://ehs.mit.edu/site/content/green-chemistry>

Mujica, V. y C. Pérez (2005), “Evaluación de impactos ambientales en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo”, revista *Ingeniería UC*, 12(2), pp. 23-31.

Plan de desarrollo institucional UAM Cuajimalpa (2012), México, Universidad Autónoma Metropolitana Cuajimalpa.

Ratón virtual (s.f.). Recuperado el 26 de abril 2016 de <http://www.ecologia-verde.com/un-raton-virtual-podria-acabar-con-la-experimentacion-anim/#ixzz47hwDoACF>

Red para el uso sustentable y ético de recursos animales de experimentación biomédica (s.f.). Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://reduceanimales.blogspot.mx/>

Refrigerators (s.f.). Recuperado el 26 de abril 2016, de <https://www.energystar.gov/products/appliances/refrigerators>

Required test methods for EPA recognized laboratories (2016). Recuperado el 26 de abril de 2016, de https://www.energystar.gov/ia/partners/downloads/mou/Required_Test_Methods_for_EPA_Recognized_Laboratories.pdf?f66c-8957

Sandberg, A. y N. Bostrom (2008), *Whole brain emulation: A roadmap, technical report* 2008-3, Future of Humanity Institute, Faculty of Philosophy-Oxford University.

Selvaggio, F. (2013), *Four steps for improving energy efficiency in laboratories, Schneider electric white paper*, Revision 0.

Semarnat (2010), La ley general para la prevención y gestión integral de los residuos y su reglamento de la Semarnat, México, Seprin.

U.S. Environmental Protection Agency (2008), *Laboratories for the 21st Century*, Office of Administration and Resources Management y U.S. Department of Energy. Energy Efficiency and Renewable Energy, DOE/ GO-102000-1161.

What is Microscale Chemistry? (s.f.). Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://www.microscale.org/about.asp>

La arquitectura bioclimática

Espacios funcionales y saludables en comunicación con la naturaleza

*Manuel Rodríguez Viqueira
Laura Elisa León Valle*

Introducción

Hoy en día se han alcanzado grandes logros tecnológicos y científicos; el desarrollo de las TIC nos sorprende día a día; ahora es posible comunicarnos e intercambiar información hasta el otro extremo del planeta, tan sólo en segundos. Sin embargo y a pesar de tantos adelantos, la vida moderna tan acelerada se ha encargado de aislarnos. Vivimos en lo externo y lo distante, y muchas veces no tenemos tiempo de hacer una exploración de nuestro entorno inmediato, o inclusive una introspección. Lo cierto es que la forma en que el mundo ha evolucionado en el último siglo ha sido al margen o en la incomprensión del medio que nos rodea. Nuestra relación con el medio ambiente depende de cómo entendemos ese medio ambiente. Esto se aprecia claramente haciendo una retrospectiva de la relación del hombre con la naturaleza.

En sus inicios el hombre se sentía y era parte de un gran sistema universal de energía. Quizá no podía entender los fenómenos naturales, quizá sentía temor ante la presencia de un rayo o un eclipse solar; sin embargo, de una u otra manera empezó a explicarse todos estos fenómenos. Deificó a los elementos naturales y fue conformando su propia visión cosmogónica, dentro de la cual él era parte importante. Entendía claramente que la relación Sol-Tierra era la que creaba, sostenía y renovaba la vida. La unión del Dios Sol con la Madre Tierra engendraba a todos los seres vivientes; de esta forma el hombre era hijo de la Tierra; las plantas y los animales, sus hermanos.

Su inventiva lo llevó a resolver los rigores del clima y del medio ambiente: el fuego para calentarse y la vestimenta para arroparse. Para su adaptación física, su ingenio lo llevó a la búsqueda de un refugio para protegerse de

las inclemencias del tiempo. Esto abarca el espacio del equilibrio biológico y asegura un entorno favorable. Así, el refugio, la vivienda, la casa, son resultado de la acumulación de experiencias y del ingenio diversificado para afrontar las condiciones particulares de un lugar determinado.

Esta misma concepción de planeta vivo y de integración del hombre con esa vida planetaria se ha mantenido por muchos siglos y en todas las culturas del planeta.

Platón, que vivió casi un siglo después de Pitágoras, se vio influido por la visión que tenía éste de una Tierra viva. En el *Timeo*, Platón proclama que [...] “El mundo es ese Ser Vivo del cual todos los demás seres vivos son individual y genéricamente porciones”. Del mismo modo que la vida humana emana de la vida de la Tierra, también nuestras almas emanan del alma del mundo, “¿De dónde puede haber recibido su alma un cuerpo humano si el cuerpo del mundo no posee alma?”, escribe Platón. (Devereux, Steele y Kubrin, 1989).

Expresiones similares existen en diversas culturas; sirva de ejemplo la visión del mundo de las tribus amerindias, quienes tenían una concepción holística de la vida. En 1854 el presidente de los Estados Unidos, Franklin Pierce, le propuso a la tribu de los Duwamish que vendieran sus tierras a los colonos blancos y que ellos se fueran a una reserva. La respuesta del jefe indio Seattle, conocido como Chief Seattle's Speech, “El discurso del jefe Seattle” (Chief Seattle, c. 1854, versión según H. A Smith, c. 1884) ha sido considerada, a lo largo del tiempo, como uno de los más bellos y profundos manifiestos a favor de la defensa del medio ambiente; he aquí unos fragmentos de la traducción que se encuentra disponible en wikisource.org (recuperado el 4 de mayo de 2016):

¿Cómo podéis comprar o vender el cielo, el calor de la tierra? Esta idea nos parece extraña. No somos dueños de la frescura del aire ni del centelleo del agua. ¿Cómo podrías comprarlos a nosotros? Lo decidiremos oportunamente. Habéis de saber que cada partícula de esta tierra es sagrada para mi pueblo. Cada hoja resplandeciente, cada playa arenosa, cada niebla en el oscuro bosque, cada claro y cada insecto con su zumbido son sagrados en la memoria y la experiencia de mi pueblo.

La savia que circula por los árboles porta la memoria del hombre de piel roja. Los muertos del hombre blanco se ol-

vidan de su tierra natal cuando se van a caminar por entre las estrellas. Nuestros muertos jamás olvidan esta hermosa tierra porque ella es la madre del hombre de piel roja. Somos parte de la tierra y ella es parte de nosotros. Las flores son nuestras hermanas; el venado, el caballo, el águila majestuosa son nuestros hermanos. Las crestas rocosas, las savias de las praderas, el calor corporal del potrillo y el hombre, todos pertenecen a la misma familia [...]

Man did not weave the web of life - he is merely a strand in it. Whatever he does to the web, he does to himself [Chief Seattle, 1854].

El hombre no tejió la trama de la vida — que no es más que una hebra de ella. Lo que hace con la trama se lo hace a sí mismo”.

Este concepto de ver a la Tierra como *madre*, o como el aspecto femenino dador de la vida, se presenta en muchísimas culturas. Barbara Walker, en su texto *La Enciclopedia de la mujer, mitos y secretos*, hace énfasis en este aspecto:

Thousands of feminine names have been given to the earth. Continents Asia, Africa, Europe were named after manifestations of the Goddess. Countries bore the names of female ancestors or of other manifestations of the Goddess: Libya, Lydia, Russia, Anatolia, Latium, Holland, China, Ionia, Akkad, Chaldea, Scotland (Scotia), Ireland (Eriu, Hera) were but a few. Every nation gave its own territory the name of its own Mother Earth. Tacitus said the tribes of Europe regarded Mother Earth as "the all- ruling deity, to whom all else is subject and obedient [Walker 1983, p. 263].

A la tierra se le han dado miles de nombres femeninos. Algunos continentes: Asia, África, Europa, recibieron su nombre de deidades femeninas. Diversos países llevan el nombre de algún antepasado o de alguna deidad mitológica: Libia, Rusia, Anatolia, Lacio, Holanda, China, Jonia, Akkad, Escocia (Scotia), Irlanda (Ériu, Hera), fueron sólo algunos de ellos. Cada nación dio a su territorio el nombre de su propia Madre Tierra. Tácito decía que las tribus de Europa consideraban a la Madre Tierra como "la deidad gobernante del todo", a la que todo lo demás está sujeto y es obediente. (Traducción del autor.)

El hombre no sólo conceptualizaba a la Tierra como madre, sino que la percibía y la sentía como tal; incluso la entendía y se comunicaba con ella mediante lenguas que casi se han olvidado. Una de esas lenguas fue la arquitectura misma; sus formas y materiales se adecuaban no sólo a sus necesidades funcionales, sino también a las condiciones geográficas y climatológicas.

A partir de la época moderna el hombre se convirtió en el centro de atención. Egocéntricamente se definió como privilegiado ante los demás seres, y autorizado para el uso indiscriminado de los recursos que “la madre tierra puso a su disposición y servicio”. Esta concepción, aunada a la Revolución Industrial, produjo un cambio drástico en el pensamiento. En aras de mejorar la calidad de vida se inició un proceso de explotación irracional de los recursos. Esta actitud con el tiempo se acentuó, las fuentes energéticas cambiaron, teniendo como origen la máquina de vapor y posteriormente los combustibles fósiles; cambiaron los patrones de consumo y los estilos de vida; se creó una actitud consumista donde se veía al medio natural como proveedor de “materias primas” para ser transformadas por el hombre en productos de consumo y bienes de capital, y con ello la economía cambió. La supuesta abundancia energética y el alto grado de industrialización propiciaron actitudes derrochadoras, prepotentes y sin ninguna consideración hacia el medio ambiente y la naturaleza.

Por su parte la arquitectura buscó cada vez con mayor ahínco responder a la moda estética, sin considerar los conceptos más lógicos y simples que permitieron lograr un espacio vital. En la construcción de nuestras casas y edificios se ha olvidado tener en cuenta la ubicación del Sol, cómo iluminarlos, cómo ventilarlos adecuadamente, cómo calentarlos cuando hace frío y refrescarlos en tiempo de calor.

El crecimiento urbano a partir del siglo XIX y una actitud radical del movimiento moderno del siglo XX, trajeron como consecuencia la transformación de la arquitectura, dándole un carácter especulativo y alejándola cada vez más de la lógica constructiva, basada en la experiencia y el respeto al ambiente.

El progreso se ha vestido de acero, concreto, vidrio y asfalto en las zonas ricas; y de cartón enchapopotado, láminas de asbesto y tabicón en las áreas marginales.

La luz eléctrica y el aire acondicionado han servido de remedio para muchas edificaciones pobremente diseñadas, sin reparar en el costo de operación, tanto monetario como ambiental, que esto representa, ni en los constantes e interminables gastos de mantenimiento que generan los sistemas electro-mecánicos.

Es increíble encontrar edificios con grandes acristalamientos tipo invernadero en lugares que son cálidos durante todo el año, pues sólo pueden ser enfriados mecánicamente, lo que ocasiona un enorme consumo energético. Habría sido más sensato hacer ventanas pequeñas para iluminación, bien orientadas y con elementos arquitectónicos de control solar para evitar la radiación directa.

Los diseños Tipo son emplazados indistintamente en cualquier parte de la república mexicana o del mundo; el resultado, cuando éstos no son adecuados a las condiciones ambientales del lugar, se traduce en la necesidad de utilizar sistemas mecánicos para resolver la demanda de confort, ya sea térmico, lumínico o acústico, y como consecuencia, una alta demanda energética y un alto impacto ambiental. Hemos llegado al extremo de que, incluso en la etapa proyectual, se sugiere como solución para el confort el uso de sistemas mecánicos de climatización, ventilación, calidad del aire, así como sistemas de iluminación artificial. Todo ello independientemente de si son necesarios o no para el lugar donde se hará la construcción.

Las exigencias de confort y funcionalidad son comunes en todos los hombres, pero las condiciones geográficas, topográficas y climatológicas no son homogéneas y están relacionadas con las condiciones ambientales, entendidas éstas a partir de las necesidades del hombre, ya sea que estén vinculadas con la sensación de confort físico (generalmente temperatura, humedad, viento) o con las necesidades funcionales (iluminación, ventilación, etcétera).

Desarrollo sostenible o sustentable

El desarrollo urbano puede entenderse como el

proceso programado de adecuación y ordenamiento del medio urbano en sus aspectos físicos, económicos y sociales, y en función de factores dinámicos como el crecimiento y el cambio. El desarrollo implica un proceso integral que persigue el equilibrio de los aspectos físicos, económicos y sociales, siendo diferente al aspecto parcial de crecimiento físico, que en ocasiones es interpretado como desarrollo. El desarrollo urbano debe ser concebido en integración o como parte integral del desarrollo regional o territorial, ya que difícilmente se dan en forma independiente” [Landa, 1976].

Desarrollo significa progreso cualitativo, por lo que para que éste se dé debe existir un espacio en el que puedan darse los procesos de adecuación, or-

denamiento, crecimiento o cambio. Desarrollo “sostenible” significa que el proceso será mantenido por un periodo prolongado, es decir que pretende que el equilibrio de todas las variables implícitas en el desarrollo sea sostenido o permanente; sin embargo, todas las variables son dinámicas, por lo que su ordenamiento deberá estar basado en ajustes continuos, tendientes a mantener dicho equilibrio.

El término “sustentable” se refiere más bien a que el desarrollo debe estar sustentado o soportado por condiciones físicas, económicas y sociales. De hecho el desarrollo se presenta siempre en un ámbito espacio-temporal. El ambiente natural donde se da este desarrollo presenta límites evidentes para el soporte urbano, regional o territorial, principalmente en términos de crecimiento, pero también en otras variables cualitativas, por lo que el desarrollo deberá considerar de manera importante los límites naturales. El desarrollo también deberá estar sustentado por una economía firme. La economía “verde” se basa en conceptos de generación y distribución de la riqueza mucho más amplios y totalmente distintos a los tradicionales, donde los intercambios se dan de manera equilibrada; sin embargo, estos cambios conceptuales deben partir de una nueva visión del hombre respecto a sí mismo y su entorno, y por lo tanto de una reorganización social.

El desequilibrio, ya sea urbano o regional, se presenta ante situaciones de asimetría y desigualdad en el desarrollo, o bien en el conjunto de aspectos físicos, sociales y económicos, entre dos o más ámbitos urbanos o entre distintas regiones de un territorio. Este desequilibrio puede ser originado por diferencias en las condicionantes o recursos naturales, por un desarrollo histórico geográfico diferencial de las actividades productivas, por la inadecuada política de inversiones públicas, o por muchas otras causas; y generalmente tiende a acentuarse con el tiempo, condicionando diferencias significativas en los niveles de bienestar social, así como en flujos migratorios interregionales. Por ello es de suma importancia lograr el equilibrio en el desarrollo físico, socioeconómico y ambiental, a partir de políticas acertadas, claras y congruentes con una nueva concepción del hombre, la sociedad y sus modos de interactuar.

La planeación y el diseño urbanos, así como la gestión y promoción para un desarrollo sostenible, no pueden actuar fuera de este contexto ni seguir dándose de manera tradicional. El nuevo diseñador urbano, y arquitecto, debe estar consciente de este cambio y aceptar su responsabilidad social. Las decisiones que tome pueden dañar o beneficiar a muchas personas, y los beneficios se darán sólo si éste asume un papel ético de servicio profesional en favor de la sociedad.

Arquitectura bioclimática

Arquitectura es una expresión de la cultura y las condiciones culturales de una sociedad. La expresión arquitectónica y la historia de las civilizaciones son inseparables. Es fácil identificar imágenes arquitectónicas que se relacionan con las distintas culturas y sus momentos históricos de desarrollo: el mundo prehispánico con sus basamentos piramidales; los castillos y las grandes catedrales con la Europa medieval; los rascacielos con envolventes de vidrio, y los grandes centros comerciales con nuestro mundo actual.

En términos históricos la arquitectura ha estado vinculada con las bellas artes. Sus expresiones más significativas han sido, y son, obras de arte que pueden analizarse en función de su forma, estructura y estética, aunque para lograrlo se requieren elementos constructivos, como muros, columnas y techumbres; su fin es crear espacios funcionales y saludables, donde los seres humanos puedan desarrollar sus actividades y que respondan a sus necesidades materiales y espirituales. En este sentido es que puede distinguirse la arquitectura como arte, de una mera construcción, ya que la arquitectura es capaz de condicionar el comportamiento del hombre en el espacio, tanto en lo físico como en lo emocional. Alcanzar en forma simultánea los objetivos funcionales, ambientales y estéticos, es el mayor reto creativo de la arquitectura.

Es necesario aprender a ver la arquitectura no sólo como muros, fachadas o cubiertas, sino también como el espacio vital que fluye a través de ellos y a su alrededor. Para habitarla no basta que sea sólida y económica, debe ser saludable y agradable, responder al clima y sintetizar la experiencia constructiva de las generaciones que nos precedieron.

En la década de los cincuenta los hermanos Olgyay, por medio de un conjunto de artículos, propusieron una arquitectura que se vinculaba con su entorno climático. En uno de ellos aparece el término Bioclimático (Olgyay 1954), tratando de enfatizar los vínculos y las múltiples interrelaciones entre la vida y el clima en relación con la arquitectura y el diseño. Estas reflexiones fueron capitalizadas en su primer libro (Olgyay, 1963), donde expone un método mediante el cual el diseño arquitectónico se desarrolla respondiendo a requerimientos climáticos específicos. En 1969 un método similar fue propuesto por Baruch Givoni (Givoni, 1969), quien lo basa en la carta psicométrica. Más adelante, en etapas sucesivas, el concepto Arquitectura bioclimática fue denominado también Arquitectura solar, Arquitectura pasiva y, hoy, Arquitectura sustentable (figuras 1, 2 y 3).

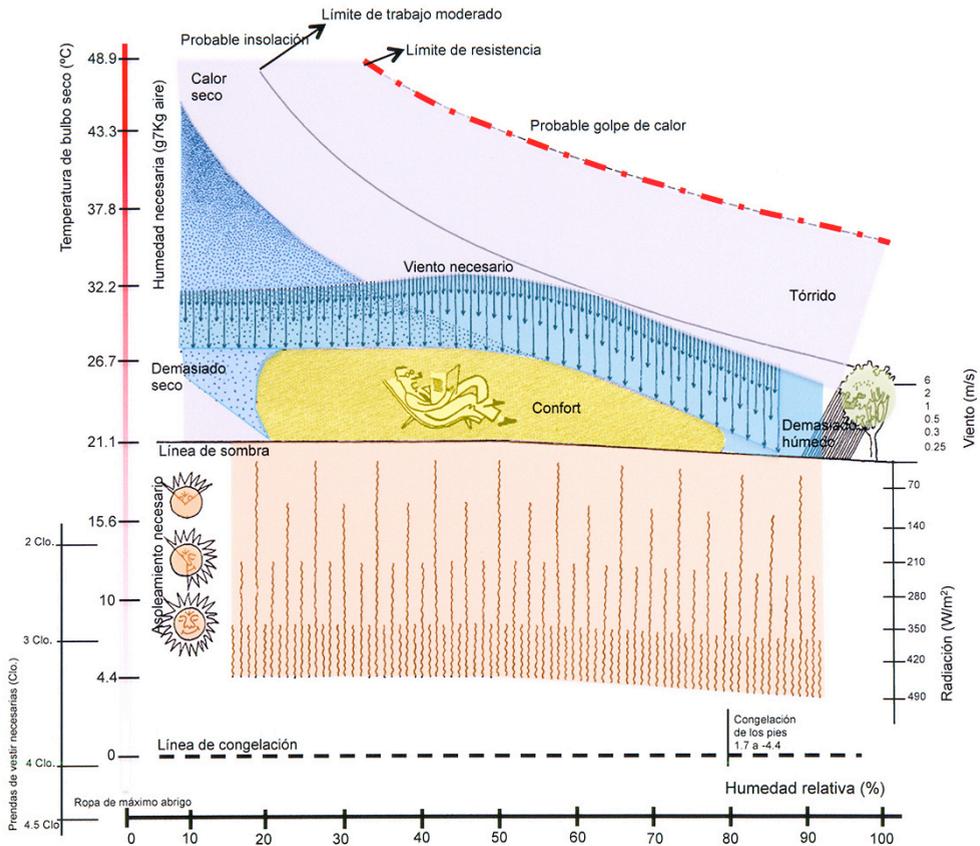


Figura 1.
Carta bioclimática de Olgay:

Se señala una zona de confort correspondiente a una zona estacionaria del aire, a un rango de temperatura de bulbo seco de entre 21.1 y 26.7 °C, y un rango de humedad de entre 20 y 80%. Además señala, para los puntos que no están en dicha zona, las medidas correctivas: incremento de velocidad del aire, de la humedad y de la radiación; que restablecerían la sensación de confort.

Es un instrumento pensado para latitudes medias de los Estados Unidos y Europa (40°), e individuos vestidos de manera normal y realizando trabajo sedentario Fuente: Archivo M. Rodríguez.

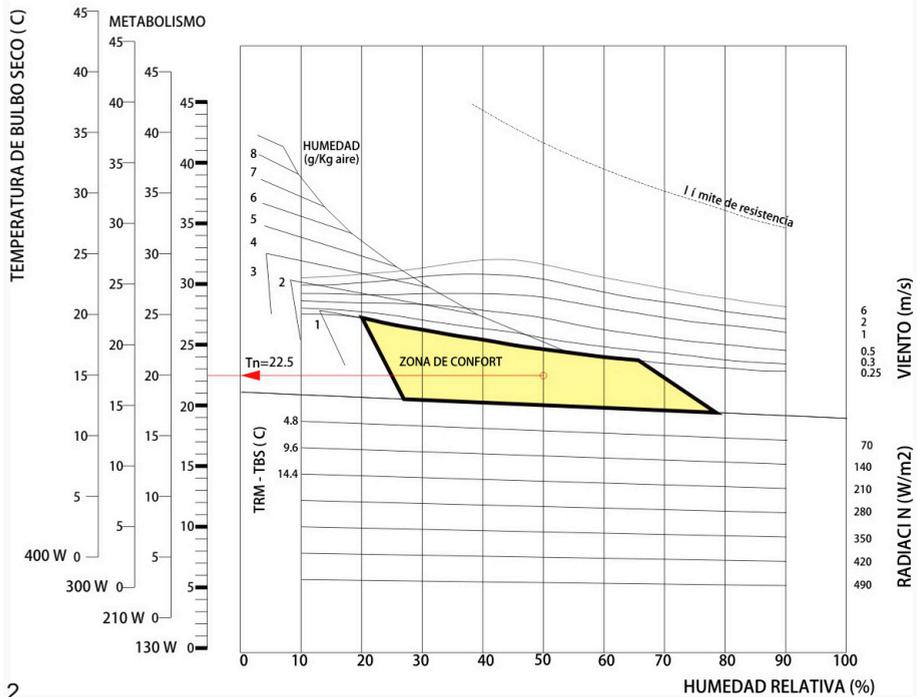


Figura 2

Carta bioclimática de Olgay, modificada por Stephen Szokolay y Andris Auliciems. Szokolay introduce la actividad metabólica como variable para la definición de la temperatura neutra. Auliciems define con mayor precisión la denominada zona de confort.

Fuente: Archivo V. Fuentes.

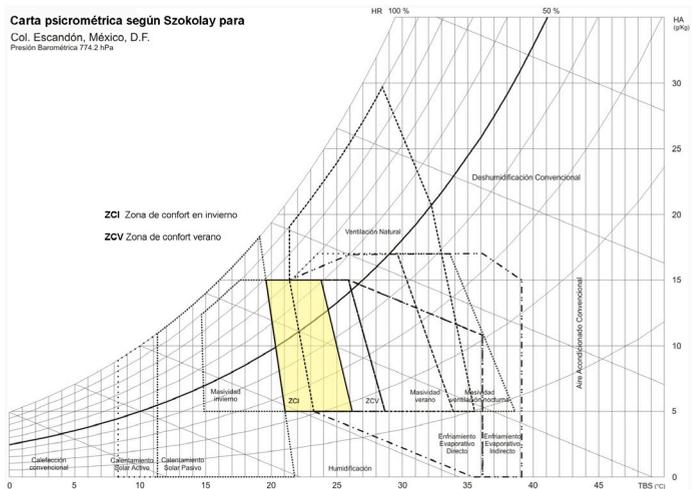


Figura 3

Stephen Szokolay y Michael Docherty, basados en los nuevos conceptos de confort, proponen un método simple para ajustar las zonas de estrategias de diseño, de la carta psicrométrica propuesta por Baruch Givoni, a partir de las condiciones climáticas específicas de cada lugar, es decir de la temperatura neutra particular.

Fuente: Archivo V. Fuentes.

La arquitectura no puede desligarse de la problemática ambiental. Tomando como marco de referencia al desarrollo sustentable, la arquitectura debe ser considerada como la disciplina encargada del ecodiseño de los espacios. Más de 90% de nuestra existencia transcurre dentro de espacios arquitectónicos, cualesquiera que éstos sean; por ello resulta de vital importancia para las personas disfrutar de las condiciones ambientales apropiadas, que les permitan desarrollar sus actividades saludable y confortablemente. En 1983 la Organización Mundial de la Salud emitió un informe donde se señala que 73% de las enfermedades de vías respiratorias se deben a diseños inadecuados de las edificaciones (García y Fuentes, 2000).

Ya no se puede seguir ignorando la estrecha vinculación del hombre con la naturaleza mediante la arquitectura. Es muy importante que el hábitat sea diseñado en función de su continuo intercambio energético, para que pueda brindar a los ocupantes las condiciones funcionales y saludables que les permita satisfacer sus necesidades psicofisiológicas. La arquitectura bioclimática ofrece muchos beneficios; entre ellos podemos citar los siguientes:

Beneficios de la arquitectura bioclimática

Comúnmente, desde una concepción (de desarrollo) tradicional, la arquitectura, y en general el diseño, es visualizada como una mercancía que implica un costo-beneficio que debe recuperar rápidamente su inversión.

Con esta visión tan estrecha sólo se contempla el costo inicial de la edificación y nunca los costos de operación ni de mantenimiento durante su “vida útil”, y mucho menos los costos secundarios por los impactos generados, tanto en el proceso de construcción como en su mantenimiento, y ya no digamos el impacto ambiental; recordemos la premisa: a mayor consumo energético mayor impacto ambiental.

En muchos lugares de la república mexicana con condiciones climáticas severas, la gente tiene que pagar grandes cantidades de dinero por un consumo eléctrico debido a la utilización de sistemas mecánicos de climatización (aun con subsidios y tarifas especiales en las temporadas críticas), incluso en ciudades con climas benignos, como es el caso de la Ciudad de México, donde existen muchos edificios de oficinas, habitacionales o comerciales, que se ven obligados a realizar altos consumos de energía eléctrica, tanto por climatización como por iluminación artificial.

Proponer una arquitectura bioclimática no implica un costo adicional al de construcción, ya que para ello sólo se utilizan conceptos de diseño adecuados, sino por lo contrario, se logran reducir enormemente los costos de

construcción, operación y mantenimiento mediante el uso eficiente de la energía y el aprovechamiento de las condiciones particulares del sitio.

Existen lugares con condiciones climáticas tales que la arquitectura por sí misma no es capaz de lograr un 100% de climatización natural, sin embargo ayudará a reducir enormemente los requerimientos y las cargas de equipos convencionales de climatización. Asimismo, la utilización de iluminación natural muchas veces no satisface el total de los requerimientos lumínicos, pero se pueden diseñar sistemas mixtos donde el sistema de iluminación artificial compense las deficiencias o variaciones lumínicas naturales.

Salud y confort

En muchas ocasiones se olvidan los impactos que la arquitectura puede provocar en la salud de los ocupantes. El cuerpo humano –relativamente frágil– es afectado por los factores y variables ambientales que le rodean, tanto físicas como psicológicas. La Organización Mundial de la Salud define a la salud como el estado de bienestar físico, psicológico y social del individuo en relación con su entorno. Cuando el cuerpo ofrece el menor esfuerzo para mantener sus condiciones de equilibrio y en óptimo funcionamiento todos sus órganos, se dice que está en condiciones de confort. De hecho una definición más amplia sería que el confort es el estado físico y mental en el cual el individuo expresa bienestar o satisfacción con el medio ambiente circundante. Como se puede apreciar, aparentemente no existe diferencia significativa entre las definiciones de salud y confort. Sin embargo, conceptualmente, la primera se refiere a un estado temporal más amplio (aunque no permanente) y abarca aspectos que no son considerados por el segundo, como el bienestar social.

El confort se refiere de manera más puntual a un estado de percepción ambiental momentáneo, el cual ciertamente está determinado por el estado de salud del individuo, pero además por otros factores endógenos y exógenos. Entre los primeros se encuentran: sexo, edad, características físicas y biológicas, salud física o mental, estado de ánimo y grado de actividad metabólica. Entre los segundos: temperatura del aire, radiación solar, humedad, viento, grado de arropamiento, tipo y color de la vestimenta, condiciones acústicas y lumínicas, calidad del aire, olores y elementos visuales.

Si bien el confort se obtiene mediante la integración de todos los factores, para fines prácticos suele dividirse en varios tipos, de acuerdo con el canal de percepción sensorial de que se trate. De esta manera se cuenta con distintos tipos de confort y la arquitectura bioclimática pretende trabajar sobre cada uno de ellos para lograr espacios funcionales, saludables y *confortables*:

Confort térmico

El confort térmico se refiere a la percepción del medio circundante que se da principalmente a través de la piel, aunque en el intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente los pulmones intervienen de manera muy importante.

El hombre debe mantener constante su temperatura corporal entre 36.5 y 37.5 grados Celsius, en cualquier condición climática, y para ello influyen factores internos y factores externos. En el primer caso, la energía necesaria para lograr esta autorregulación se obtiene por medio de la oxidación de los alimentos. En el segundo, de nuestro nivel de arropamiento y de la temperatura ambiente. En ambos casos, también influirá la actividad metabólica.

Por medio del diseño de los espacios arquitectónicos y la utilización de sistemas pasivos y activos de climatización es posible conseguir condiciones térmicas adecuadas y confortables, según sea la funcionalidad requerida para un determinado espacio. Esto repercutirá en la salud y confort de los usuarios. Diferentes son los requerimientos de confort térmico de un gimnasio que de una oficina, de un salón de clases donde se encuentra un numeroso grupo de usuarios que de un cubículo donde sólo hay una persona.

Confort higrométrico

La humedad desempeña un papel importante en los mecanismos de intercambio térmico del cuerpo, tanto en la sudoración como en la evaporación e intercambio térmico mediante la respiración. Es cierto que el rango de confort de humedad es amplio, sin embargo, cuando se está fuera de él se impacta al sistema respiratorio y al cutáneo de manera significativa.

Confort lumínico

El confort lumínico se refiere a la percepción a través del sentido de la vista. Se refiere de manera preponderante a los aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos relacionados con la luz.

La iluminación en las edificaciones comprende la integración de los componentes natural y artificial, donde ambos deben complementarse: durante el día, con predominio de la luz natural, y durante la noche, con la artificial. El sistema lumínico debe proporcionar la adecuada visibilidad para la óptima realización de las diversas tareas visuales de los usuarios en sus espacios arquitectónicos, de tal manera que puedan llevar a cabo sus actividades con condiciones adecuadas de iluminación, tanto en lo que se refiere a la cantidad como a la calidad de la luz.

Hoy en día existen normas que establecen los niveles lumínicos requeridos para las distintas actividades visuales en los espacios arquitectónicos.

Confort acústico

Se refiere a la percepción que se da mediante el sentido del oído, donde se incluyen, además de los factores acústicos, el factor ruido.

Debemos estar conscientes de que no sólo los espacios que tienen como función principal la difusión o el control del sonido requieren nuestra atención. Es importante resaltar que todos los espacios arquitectónicos requieren de un diseño acústico adecuado, y esto se explica por una simple razón, el ser humano utiliza los oídos permanentemente. La ausencia de confort acústico puede ser motivo de alteraciones de la salud: estrés, neurosis, trastornos en el sistema circulatorio, pérdida temporal o permanente de la audición, perturbación del sueño, e interferencia en la comunicación.

Confort olfativo

La sensación olfativa es una forma de percepción sensorial, fundamentalmente por medio de la nariz, de las condiciones que guarda un espacio en lo que se refiere a la calidad del aire y a los olores. Sin embargo es pertinente aclarar que existen sustancias que pueden encontrarse en el aire y que son perceptibles únicamente a través de reacciones del sistema respiratorio, como la tos, mucosidad en las fosas nasales, o la asfixia. Podemos decir que un espacio con una adecuada calidad del aire y una percepción olfativa satisfactoria se caracteriza como aquel donde éstos son adecuados en relación con sus características funcionales y arquitectónicas. Por lo tanto, debemos entender por confort olfativo y calidad del aire el estado de bienestar físico del ser humano en su sistema respiratorio y en la percepción odorífica, en un momento dado, en un ambiente específico.

Confort psicológico

El confort psicológico se refiere a la percepción global que tiene el cerebro acerca de toda la información que recibe del medio ambiente, incluyendo la percepción espacial, visual, auditiva, etc. Ésta es analizada y procesada en función de la información residente (conocimiento, experiencias, personalidad, etc.), de tal modo que el individuo responderá de una u otra manera, expresando satisfacción o desagrado ante los estímulos ambientales. Si bien es cierto que el confort psicológico es muy subjetivo, existen ciertos parámetros que pueden ser válidos para la mayoría de las personas y que de alguna manera pueden ser manejados por el diseño arquitectónico.

Características del proyecto bioclimático

Una de las características del proyecto bioclimático es lograr una adecuada comprensión del problema a resolver, ya que en esa medida serán las soluciones dadas. Por lo tanto, el primer paso es la definición clara y concisa de los objetivos, alcances y limitaciones. Evidentemente todo ello depende de las características particulares de cada proyecto, y para lograrlo debemos seguir los siguientes pasos (Fuentes y Rodríguez, 1997):

Análisis del sitio y del entorno

Tiene por objetivo conocer, analizar y evaluar las variables ambientales, naturales y artificiales, así como socioculturales, para lograr una adecuada integración de la obra arquitectónica, así como para aprovechar los beneficios o aptitudes que provee el entorno y controlar o matizar los elementos desfavorables, evitando al máximo la alteración o impacto que se pudieran provocar. Estos factores están interrelacionados entre sí, al igual que la siguiente etapa de análisis del usuario.

- a. Las variables ambientales y naturales se relacionan con el sitio, la climatología, la trayectoria solar y el análisis ecológico:

El Sitio

Se deberán realizar estudios del sitio, considerando en general las condicionantes geomorfológicas, geológicas, edáficas, hidrológicas, de vegetación, fauna, etc., no de manera aislada sino tratando de determinar los distintos ecosistemas, ya sean naturales o urbanos. Como resultado se contará con una síntesis cartográfica detallada.

Climatología

El clima es un factor fundamental para el desarrollo de la vida en general y condicionante de la arquitectura. Por ello es indispensable conocer, analizar y evaluar los elementos y factores determinantes del clima, en los ámbitos regional, local y de sitio. Como resultado se contará con un análisis climático detallado, que incluye: análisis paramétrico mensual y anual, definición climática, datos climáticos horarios; todo ello nos permitirá establecer la temperatura neutra (Auliciems, 1981) a partir de la cual podremos proponer soluciones arquitectónicas que favorezcan el confort térmico y elaborar la matriz resumen de climatización.

¹. Es la temperatura óptima, en la cual el cuerpo humano encuentra condiciones de confort (Auliciems, 1981).

Análisis de geometría solar

Como uno de los factores del clima, la geometría solar se estudia de manera particular, ya que será un elemento sustantivo del proyecto bioclimático. La orientación del edificio tendrá un impacto significativo en su comportamiento térmico. Como resultado de este análisis se tendrán las distintas gráficas y datos solares detallados relacionados con los datos climáticos horarios.

Análisis ecológico

Se elaborará un diagnóstico ambiental detallado y se definirá el funcionamiento de los ecosistemas natural y humano. Como resultado se contará con un diagnóstico ecológico y ambiental detallado.

- b. Las variables artificiales, así como las socioculturales, se relacionan con los antecedentes arquitectónicos, la Infraestructura, el equipamiento, el estudio de las tecnologías locales y apropiadas, y el medio sociocultural:

Antecedentes arquitectónicos

Es muy importante rescatar la experiencia y los aciertos de la arquitectura local. “Conocer las características de la arquitectura propia de cada localidad o región en estudio, detectando tipologías que permitan establecer un criterio para evitar la destrucción o deterioro de un medio ambiente cultural significativo. La tipología en este caso se define como el conjunto de valores esenciales que caracterizan y determinan la arquitectura propia de una región” (Ferreiro, 1991, pp. 13-20). Como resultado, se deberá contar con una definición tipológica.

Infraestructura y equipamiento

El objetivo es conocer y evaluar la infraestructura y equipamiento del sitio de análisis para poder aprovecharlos en el proyecto o para proponer sistemas tecnológicos apropiados y alternativos más eficientes y con menores consumos energéticos. Como resultado se contará con un diagnóstico de la infraestructura y el equipamiento.

Estudio de tecnologías locales y apropiadas

Es importante hacer un estudio de materiales constructivos regionales, sistemas y procedimientos constructivos. Estudiar qué materiales reciclados o reciclables pueden incorporarse al proyecto, qué sistemas son los más

apropiados, con el fin de permitir una reutilización o reincorporación adecuada al medio al finalizar la vida útil de la obra. También se debe estudiar la factibilidad de utilizar ecotecnología. Como resultado se contará con un estudio detallado de materiales y sistemas constructivos locales apropiados, así como de las ecotecnologías factibles de ser utilizadas.

El medio sociocultural

Determinar y evaluar las condicionantes económicas, políticas, sociales y culturales de la localidad, incluyendo los aspectos legales, normativos, reglamentarios o restrictivos enfocados a determinar la factibilidad y pertinencia del proyecto.

Análisis del usuario

El usuario deberá ser estudiado de manera integral, considerando sus tres áreas fundamentales (Ferreiro, 1991, pp. 13-20):

- a. *El área física* establece la relación básica del hombre con su medio y permite su existencia.
- b. *El área psicológica* establece una relación con el medio percibida a través de los sentidos. Ésta le permite al hombre estar consciente de su existencia y su significado.
- c. *El área sociocultural* permite conformar una identidad individual y de grupo social (colectiva), que a su vez se constituye en un hábitat único.

Bienestar y confort

Conocer las condiciones particulares del bienestar humano, de manera detallada para los usuarios particulares del proyecto, así como en función de los requerimientos funcionales específicos. Los factores de confort se dividen en:

- Confort higrotérmico
- Confort lumínico
- Confort acústico
- Confort olfativo
- Confort psicológico

Como resultado se obtendrán todos los rangos o límites de confort: higrotérmico, lumínico, acústico y de calidad del aire. Como herramientas de aná-

lisis se pueden utilizar distintos métodos gráficos o cuadros y normas de referencia. Entre ellos destacan la carta bioclimática, la carta psicométrica, las gráficas solares para el estudio de los asoleamientos, tablas de niveles sonoros para el confort acústico en espacios y usos arquitectónicos, normas de iluminación, etcétera.

Necesidades y requerimientos

Analizar y evaluar los requerimientos de confort en relación con los requerimientos funcionales y espaciales del proyecto arquitectónico. Se deberán hacer cuadros relacionados de índices de confort, en concordancia con el programa arquitectónico, horarios y usos del espacio; así como cuadros de confort relacionados con los datos climáticos horarios, de los niveles sonoros y de los niveles de iluminación. Como resultado se obtendrá el programa arquitectónico detallado: requerimientos y necesidades, diagramas de funcionamiento, listado de locales, estudio de áreas, horarios y formas de uso horario de los espacios, etcétera.

Definición de estrategias de diseño

La definición de las estrategias de diseño consiste en determinar las acciones necesarias y la manera como éstas se coordinan para conseguir el objetivo deseado en la propuesta arquitectónica. Las estrategias se dividen en los mismos términos que los factores de confort:

- *De climatización*: calentamiento o enfriamiento, humidificación o deshumidificación, inercia o masividad, ventilación.
- *De iluminación*: natural, artificial.
- *De acústica*: acondicionamiento acústico, control de ruidos.
- *De control de contaminantes*: aire, suelo, agua.

Definición de conceptos de diseño bioclimático

Los conceptos son ideas o pensamientos expresados de manera verbal o gráfica, que corresponden ya sea a una idea arquitectónica, espacial o de detalle que da solución a los problemas previamente definidos. La definición de conceptos arquitectónicos en general es propia de la metodología de diseño arquitectónico; aquí se enuncian únicamente los conceptos de tipo bioclimático.

Sistemas pasivos de acondicionamiento bioclimático

Es necesario “conocer los principios físicos y las técnicas en que se basan estos sistemas, para emplearlos de manera eficaz, los cuales deben integrarse desde la concepción inicial del diseño, a fin de lograr una adecuada relación de la arquitectura con el medio. Los sistemas pasivos son aquellos que permiten captar, controlar, almacenar, distribuir o emitir los aportes de la energía natural sin intervención de ninguna fuente de energía” (Ferreiro, 1991, pp. 13-20).

Se estudian tres sistemas básicos:

1. Sistemas pasivos de climatización (climatización natural)
2. Sistemas pasivos de iluminación (iluminación natural)
3. Sistemas pasivo acústicos y para el control de ruidos (acústica arquitectónica)

Sistemas activos e híbridos de acondicionamiento bioclimático

Es necesario conocer y emplear en manera eficiente los distintos sistemas activos, o sea aquellos en que a la energía natural que los opera en forma prioritaria, se incorpora algún dispositivo de apoyo mecánico o eléctrico que funciona con algún aporte de energía convencional para lograr su óptimo funcionamiento. Estos sistemas son necesarios cuando los sistemas pasivos no son suficientes para lograr el control ambiental adecuado o deseado; y sobre todo, se utilizan cuando se pretende hacer un uso eficiente de la energía y los recursos.

Se estudian distintos sistemas activos y tecnologías apropiadas:

- Sistemas activos de climatización (acondicionamiento artificial)
- Sistemas activos de iluminación (iluminación artificial)
- Sistemas activos de acústica (electroacústica)
- Generación y control de la energía (uso eficiente de la energía: electricidad, gas, combustibles líquidos, leña, etc.; vinculado con los sistemas anteriores)
- Manejo y control del agua (captación pluvial, reutilización, calentamiento, purificación, etc.) (uso eficiente del recurso hídrico)
- Manejo de desechos (líquidos y sólidos), etcétera
- Manejo y control de contaminantes

El anteproyecto

Una vez definidas las estrategias de diseño y los conceptos bioclimáticos a utilizarse, se procede a realizar el anteproyecto arquitectónico. (Se tendrán en cuenta los conceptos: funcionales, espaciales, estéticos y de integración de tecnologías, estructurales y constructivos, bioclimáticos, diseño de exteriores, etcétera.)

La evaluación del anteproyecto

La evaluación del proyecto deberá hacerse desde distintos ángulos:

Arquitectónica

Revisión de las estrategias y conceptos de diseño en detalle. Así como el funcionamiento, áreas e interrelación de locales; y también aspectos estéticos.

De confort

- *Térmico*: mediante modelos matemáticos de simulación
- *De asoleamiento y control solar*: con modelos gráficos, matemáticos o físicos en laboratorio.
- *De ventilación*: por medio de modelos matemáticos, túnel de viento o cámara de humos.
- *Lumínico*: con modelos gráficos, matemáticos, o en cielo artificial
- *Acústico y control de ruidos*: por medio de cálculos matemáticos simples.

Energética

Evaluación de los usos de la energía en climatización e iluminación artificial, y de tecnologías apropiadas aplicables al proyecto para hacer un uso más eficiente de la energía y los recursos. Mediante un diagnóstico energético y un balance térmico.

Ambiental

Se desarrollará un estudio de impacto ambiental (con listas, índices o matrices) y estudios acerca de cómo se integrará el edificio a los ecosistemas naturales y urbanos, tanto durante su vida útil como en su reincorporación final (incluyendo factibilidad de uso de materiales reciclados y reciclables, etcétera).

Normativa

El proyecto deberá responder a todos los aspectos legales, normativos y reglamentarios vigentes de la localidad.

Adicionalmente se llevarán a cabo las evaluaciones propias de todo proyecto, como pueden ser los aspectos de factibilidad y económicos, para posteriormente realizar el denominado proyecto ejecutivo y la realización de la obra. La propuesta bioclimática no debe terminar al finalizar el proyecto o al construirlo, sino que es necesario evaluar la obra ya en operación. De esta manera no sólo se da continuidad y seguimiento a los proyectos, sino que también se obtiene una experiencia valiosa de cada uno de ellos, la que será de gran utilidad para proyectos posteriores.

El edificio del Banco de Comercio de la ciudad de Fráncfort del Meno

Un ejemplo significativo de edificio bioclimático en el ámbito mundial es el realizado por arquitecto Norman Foster para las oficinas centrales del Banco de Comercio en la ciudad de Fráncfort del Meno, en Alemania, donde buscó soluciones arquitectónicas que favorecieran la optimización de los consumos energéticos.



Introdujo sistemas híbridos de climatización, de iluminación, acústicos y para el control de ruidos. Para ello utilizó un patio de luz y ventilación al centro de la planta, con entresijos transparentes que evitan el efecto chimenea, y una secuencia de terrazas que van girando de manera helicoidal en la vertical del edificio (figuras 4, 5, 12, 13, 8 y 7).

Figura 4.

Vista general del edificio del Banco de Comercio (Commerzbank Headquarters) en la ciudad de Fráncfort de Meno, en Alemania (Arquitecto: Norman Foster, 1991-1997. Foto: Archivo M. Rodríguez).

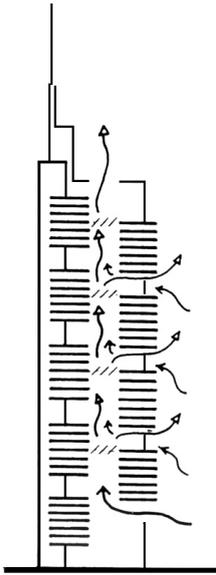


Figura 5
Corte esquemático que muestra el sistema de ventilación e iluminación (Arquitecto: Norman Foster, 1991-1997. Dibujo: Archivo M. Rodríguez).

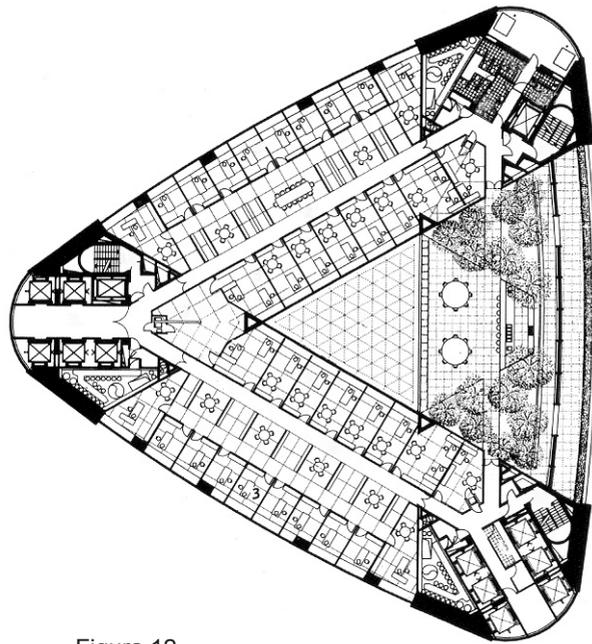


Figura 12
Planta tipo (Arquitecto: Norman Foster, 1991-1997. Dibujo: Archivo M. Rodríguez).

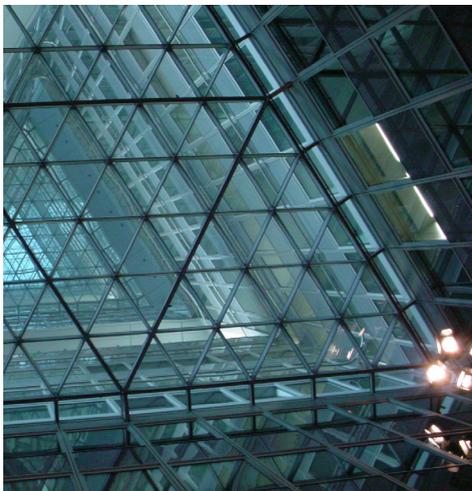


Figura 13
Patio de luz y ventilación, con entrepisos traslucidos para controlar la circulación del aire (Arquitecto: Norman Foster, 1991-1997. Foto: Archivo M. Rodríguez).

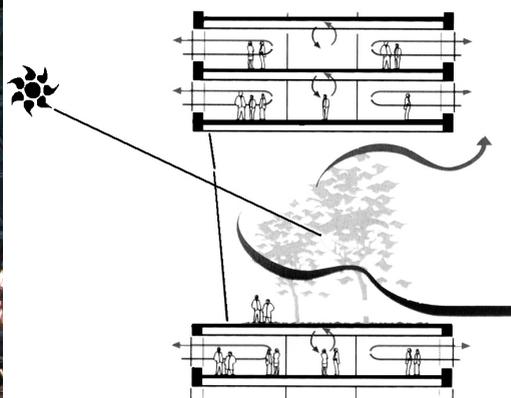


Figura 8
Corte esquemático que muestra asoleamientos y ventilación del edificio (Arquitecto: Norman Foster, 1991-1997. Dibujo: Archivo M. Rodríguez).

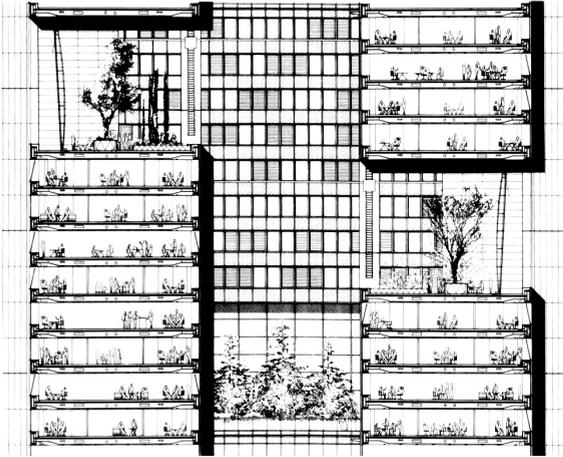


Figura 7
Fragmento de corte esquemático (Arquitecto: Norman Foster, 1991-1997. Dibujo: Archivo M. Rodríguez).

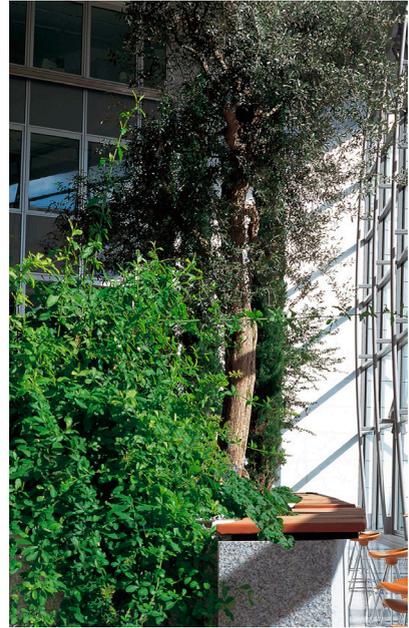


Figura 10
Interior de terraza ajardinada (Arquitecto: Norman Foster, 1991-1997. Foto: Archivo M. Rodríguez).



Figura 11
Vistas del patio de luz y ventilación e interior de terraza ajardinada (Arquitecto: Norman Foster, 1991-1997. Foto: Archivo M. Rodríguez).

Esta solución impacta formalmente el volumen del edificio, que de alguna manera parece la sobrexposición de varios edificios pequeños, lo que da por resultado otro de gran altura (figuras 6 y 9).



Figura 6
Acercamiento a la fachada del edificio (Arquitecto: Norman Foster, 1991-1997. Foto: Archivo M. Rodríguez)



Figura 9
Acercamiento a la fachada de una de las terrazas ajardinadas (Arquitecto: Norman Foster, 1991-1997. Foto: Archivo M. Rodríguez).

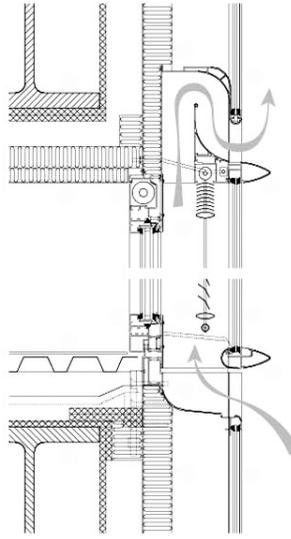


Figura 14
Detalle de los ventanales que permiten el sombreado y la ventilación (Arquitecto: Norman Foster, 1991-1997. Dibujo Foster and partners).

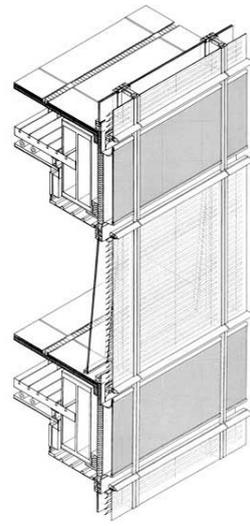


Figura 15
Detalle de los ventanales que permiten el sombreado y la ventilación (Arquitecto: Norman Foster, 1991-1997. Dibujo Foster and partners)

Otro aspecto sobresaliente es el diseño de las ventanas y la envolvente, en el que por la doble ventana se introduce el sistema de control solar y la posibilidad de ventilación controlada. Son aspectos pensados tanto para el periodo de calor como para el periodo invernal (figuras 14 y 15).

El sistema es híbrido, ya que en la ciudad de Fráncfort el clima es oceánico (Koppen: Cfb), con inviernos moderadamente fríos y veranos cálidos, lo cual obliga, durante el invierno, a utilizar calentamiento por medio de sistemas activos, lo que tradicionalmente denominamos calefacción; durante el periodo cálido el sistema de ventilación y control solar permite lograr ambientes térmicamente confortables, sin necesidad de usar sistemas activos.

Referencias bibliográficas

Auliciems, A. (1981), "Towards a psycho-physiological model of thermal perception", *International Journal of Biometeorology*, 25, pp. 109-122.

Devereux, P., J. Steele y D. Kubrin (1989), *Gaia. La tierra inteligente*, Bogotá, Círculo de Lectores.

- Auliciems, A. y S. Szokolay (1997), *Thermal Comfort*, Brisbane, Ed. PLEA/–University of Queensland.
- Ferreiro, H. (1991), “Hombre, el hábitat, el medio, la energía y el método”, cap. 1, en R. Lacomba *et al.*, *Manual de arquitectura Solar*, México, Trillas.
- Fuentes, V. y M. Rodríguez (1997), *Apuntes de curso: hacia una metodología de diseño bioclimático*, México, UAM-A.
- García, J. R. y V. Fuentes (2000), *Arquitectura y medio ambiente en la Ciudad de México*, México, UAM-A.
- Givoni, B. A. (1969), *Man, climate and architecture*, Elsevier Architectural Science Series, Henry J. Cowan (ed.), Amsterdam, Elsevier.
- Landa, H. (1976), *Terminología de urbanismo*, México, CIDIV-Indeco.
- Olgyay, V. (1963), *Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*, New Jersey, Princeton University Press.
- Rodríguez, M. *et al.* (2002), *Introducción a la arquitectura bioclimática*, México, Limusa/ UAM.
- Walker, B. (1983), *The women’s encyclopedia of myths and secrets*, San Francisco, Harper & Row.

Archivos electrónicos

https://es.wikisource.org/wiki/Mensaje_del_gran_jefe_Seattle,_de_la_tribu_dewamish,_al_presidente_de_los_Estados_Unidos,_Franklin_Pierce. Consultado el 4 de mayo de 2016.

<http://www.kyphilom.com/www/seattle.html>. Consultado el 4 de mayo de 2016.

Criterios generales para una construcción sustentable. Caso de estudio: zona de Cuajimalpa

Manuel Rodríguez Viqueira

El lugar y la arquitectura

El clima es el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan a una zona geográfica o sitio particular, donde el comportamiento de las variables climatológicas a lo largo del tiempo (al menos 20 años) resulta constante y determina el tipo de clima de dicha región o localidad. Debido a que es un ciclo dinámico, las condiciones ambientales se encuentran en constante cambio, por lo que a las condiciones climatológicas de un momento determinado les llamamos tiempo: “Hace buen tiempo. Hace mal tiempo”. Por su parte, a las características climáticas particulares de un sitio se les suele denominar microclima, y son determinantes para efectos arquitectónicos.

En las propuestas arquitectónicas de hoy en día predomina la premisa económica, obtener el mayor beneficio con la menor inversión, con consecuencias ambientales y de sustentabilidad desastrosas, que ocasionan, a su vez, grandes costos para mitigar los resultados de no tener en cuenta las condiciones particulares de cada lugar; aspecto contradictorio con la premisa inicial.

Si deseamos un mundo más racional y sustentable debemos modificar el enfoque e impulsar la idea de construir de acuerdo con las condiciones particulares de cada lugar, ambientales y geográficas, lo que no quiere decir que no sea un buen negocio. Para profundizar en ello proponemos un acercamiento a la zona de Cuajimalpa, en la Ciudad de México, y realizar un análisis de sus condiciones ambientales y sus particulares características geográficas. En nuestro ejemplo de análisis trataremos de caracterizar el microclima para posteriormente trasladarlo a la Carta Bioclimática de Olgyay (1963), modificada por Auliciems y Szokolay (1997), que nos proporcionará los principales criterios higrotérmicos para el diseño arquitectónico de la

zona. Adicionalmente se mostrarán los datos normativos y recomendados para la iluminación, ventilación y comportamiento acústico.

El caso particular de Cuajimalpa de Morelos

Cuajimalpa es una de las 16 delegaciones de la Ciudad de México. Se divide territorialmente en 4 pueblos: San Pedro Cuajimalpa, San Lorenzo Acopilco, San Mateo Tlaltenango y San Pablo Chimalpa.

La orografía es básicamente montañosa, con pocas zonas llanas. La cabecera de la delegación, San Pedro Cuajimalpa, se encuentra a una altura de 2 750 m.s.n.m., mientras el punto más bajo se sitúa a 2 420 m.s.n.m., en la frontera con la Delegación Miguel Hidalgo. La Unidad Cuajimalpa de la Universidad Autónoma Metropolitana se encuentra a 2 695 m.s.n.m. Las Normales Climatológicas que utilizaremos como referencia corresponden a un periodo de 30 años y proceden fundamentalmente del Observatorio Sinóptico (1971-2000) del Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua (<http://smn.cna.gob.mx/> Cuajimalpa, y <http://smn.cna.gob.mx/Tacubaya>). La estación meteorológica de referencia se encuentra en San Pedro Cuajimalpa, a una altitud de 2 777 m.s.n.m.

El clima de la delegación varía en función de la altitud; en zonas bajas, cercanas a la Delegación Miguel Hidalgo; se caracteriza por ser templado C(w2); por el contrario, en las zonas intermedias y altas se tiene un clima templado húmedo C(m) y semifrío-húmedo C(E)(w2). En términos generales, de acuerdo con la clasificación de Koppen, modificada por Enriqueta García, el clima dominante en la zona de Cuajimalpa es templado, isotermal, tipo Ganges, sin canícula Cbw2(w)ig (García, 2004).

En 1990 se propuso una clasificación climatológica para fines arquitectónicos de las principales ciudades de nuestro país (Schjetnan *et al.*, 1990). Dicha clasificación plantea 9 bioclimas, en función de las temperaturas medias de los meses más cálido y más frío, y de la precipitación total anual. La propuesta tiene buena correspondencia con el sistema de Koppen-García. Teniendo como referencia este sistema, el bioclima dominante de Cuajimalpa es semifrío-húmedo.

Las peculiaridades geográficas de la delegación la convierten en una de las zonas más húmedas de la cuenca de México, no sólo por la de humedad generada por las precipitaciones pluviales y las nevadas en sus partes altas, sino también por la poca pérdida por evaporación y transpiración. El exceso de humedad se acumula en el fondo de las barrancas y en las laderas que están

orientadas al norte y expuestas a menor radiación solar. La presencia de vegetación asociada a la morfología de las barrancas (profundas y estrechas) mantiene la humedad, que ocurre por la condensación del vapor de agua presente en el aire, favoreciendo la recarga de agua al subsuelo. (Recuperado el 24 de junio de 2016, de <http://www.cuajimalpa.df.gov.mx/historia/geo.php>)

El análisis y la interpretación de los datos climatológicos

Los elementos del clima más significativos, a tener en cuenta, para el diseño arquitectónico, son: temperatura, humedad, presión atmosférica, precipitación, viento, radiación solar y nubosidad. Sin dejar de considerar fenómenos especiales o atípicos: heladas, tormentas, huracanes, granizadas, nevadas, neblina, etc. Los datos para la zona de Cuajimalpa son:

CUADRO 1

Cuajimalpa, D.F.		1971-2000															
1. CLIMA	Cwa(w) ts	Clima templado, isoterma; tipo gañanes; no hay canícula															
2. BIOCLIMA	SEMIFRIO HUMEDO																
3. LATITUD	19° 21'	19.35	decimal														
4. LONGITUD	99° 19'	99.30	decimal														
5. ALTITUD	2.777	metros															
Clave de estación: 009016																	
PARAMETROS	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	minima	maxima	Oscilación anual
TEMPERATURAS																	
A. MÁXIMA EXTREMA	°C	24.0	24.0	28.5	28.0	34.0	28.5	23.5	23.0	23.5	24.0	25.0	22.0	34.0	22.0	34.0	12.0
A. MÁXIMA	°C	17.7	18.6	21.1	21.7	22.0	19.8	18.4	18.6	18.2	18.4	17.8	17.5	19.2	17.5	22.0	4.5
A. MEDIA	°C	13.2	13.8	14.2	15.1	15.8	14.3	13.2	13.4	13.1	12.8	11.8	11.1	13.1	11.5	15.8	4.5
A. MÍNIMA	°C	4.7	5.1	7.3	8.4	9.3	8.7	8.0	8.1	8.0	7.2	5.8	4.8	7.1	4.7	9.3	4.6
A. MÍNIMA EXTREMA	°C	-3.0	-2.5	-2.5	0.5	5.0	2.0	4.0	5.0	1.0	2.0	-2.0	-2.0	-3.0	3.0	5.0	8.0
E. OSCILACION	°C	13.0	13.5	13.8	13.3	12.7	11.1	10.4	10.5	10.2	11.2	12.0	12.7	12.0	10.2	13.8	3.6
HUMEDAD																	
E1. TEMP/BULBO HUMEDO	°C	8.2	8.8	10.4	11.2	11.8	11.0	10.2	10.4	10.2	9.7	8.8	8.1	9.9	8.2	8.0	5.8
E2. H.R. MÁXIMA	%	66	67	63	63	65	66	66	67	66	66	66	66	66.8	63.2	69.0	5.8
E2. H.R. MEDIA	%	66	64	62	62	64	67	66	66	66	67	66	66	66.7	61.5	68.9	7.4
E2. H.R. MÍNIMA	%	43	41	40	41	42	47	49	49	50	47	45	44	44.6	38.6	49.5	9.9
E. PRESION DE VAPOR MEDIA	hPa	8.72	8.88	9.96	10.64	11.26	10.86	10.39	10.46	10.39	9.91	9.19	8.76	10.0	8.2	8.88	10.0
B. EVAPORACION	mm	126	148	212	212	206	166	151	146	125	135	117	120	186.0	126	148	60.0
PRESION																	
E. MEDIA	hPa	726.5	727.0	726.0	726.8	730.2	726.1	726.2	726.3	726.1	727.8	727.0	726.4	726.1	726.1	726.1	726.1
PRECIPITACION																	
A. MEDIA (TOTAL)	mm	11.1	6.9	12.3	28.0	85.6	225.2	276.7	286.2	211.9	78.9	11.2	6.4	1220.4	6.4	276.7	270.3
A. MÁXIMA	mm	57.2	22.5	38.6	41.6	134.1	358.1	444.8	371.2	348.9	264.9	38.7	38.1	444.9	22.5	444.8	422.3
A. MÁXIMA EN 24 HRS	mm	28.0	12.5	15.8	23.0	58.5	113.5	66.7	72.3	108.2	66.7	22.0	20.0	113.5	12.5	113.5	101.0
A. MÁXIMA EN 1 HR	mm														0.0	0.0	0.0
A. MÍNIMA	mm														0.0	0.0	0.0
DÍAS GRADO																	
E. DÍAS GRADO GENERAL	dg	-210.8	-173.6	-117.8	-87.0	-74.4	-111.0	-148.8	-142.6	-147.0	-161.2	-186.0	-213.9	-177.1	-210.8	-173.6	-117.8
E. DÍAS GRADO LOCAL	dg	-247.1	-206.4	-154.1	-122.1	-110.7	-146.1	-185.1	-178.9	-182.1	-197.5	-221.1	-250.2	-220.8	-247.1	-206.4	-154.1
E. DG-refriamiento	dg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
E. DG-calentamiento	dg	-228.5	-193.4	-176.7	-156.3	-148.9	-160.5	-185.8	-183.0	-181.8	-194.3	-208.7	-229.1	-224.2	-228.5	-193.4	-176.7
ÍNDICE OMBROTÉRMICO 28																	
E. TEMP EQUIVALENTE	coef	-8.45	-10.55	-7.85	0	28.8	98.6	124.35	119.1	91.95	25.45	-8.4	-10.8	36.9	-8.45	-10.55	-7.85
E. ÍNDICE DE ARIDEZ	coef	-0.8	-0.9	-0.8	0.0	1.8	6.9	9.4	8.9	7.0	2.0	-0.7	-1.0	2.7	-0.8	-0.9	-0.8
E. SECO/HUMEDO	S	S	S	S	S	H	H	H	H	H	H	S	S	S	S	S	S
RADIACION SOLAR																	
C. RADIACION MÁXIMA DIRECTA	W/m ²	645.0	572.0	603.0	534.0	489.0	406.0	389.0	408.0	416.0	424.0	428.0	396.0	467.8	645.0	572.0	603.0
C. RADIACION MÁXIMA DIFUSA	W/m ²	171.0	176.0	184.0	216.0	229.0	226.0	228.0	228.0	221.0	204.0	182.0	175.0	204.2	171.0	176.0	184.0
C. RADIACION MÁXIMA TOTAL	W/m ²	474.0	748.0	787.0	750.0	718.0	632.0	617.0	636.0	637.0	628.0	610.0	571.0	665.8	474.0	748.0	787.0
INSOLACION TOTAL	hr													6.0			
FENOMENOS ESPECIALES																	
A. LLUVIA APRECIABLE	días	2.0	2.4	2.9	7.7	12.8	20.0	25.1	23.3	19.4	9.5	3.5	1.4	13.0	2.0	2.4	2.9
LLUVIA APRECIABLE	días													0.0			
A. DÍAS DESPEJADOS	días	11.2	7.6	9.2	4.6	3.2	2.0	0.8	1.7	3.8	3.3	6.7	8.3	62.2	11.2	7.6	9.2
A. MEDIO NUBLADOS	días	15.6	18.7	18.2	18.4	19.0	3.5	9.5	8.2	5.9	12.2	17.1	18.1	16.4	15.6	18.7	18.2
A. DÍAS NUBLADOS	días	4.2	3.7	3.6	7.0	8.8	18.5	21.7	21.1	20.5	15.5	6.2	6.6	13.4	4.2	3.7	3.6
A. DÍAS CON ROJO	días													0.0			
A. DÍAS CON GRANIZO	días	0.1	0.1	0.1	0.8	1.3	2.5	2.6	3.1	2.2	0.8	0.1	0.1	13.8	0.1	0.1	0.1
A. DÍAS CON HELADAS	días													0.0			
A. DÍAS CON TORRE ELÉCTRICA	días	1.2	1.0	0.8	1.1	1.6	6.0	5.4	5.4	7.8	5.5	3.1	2.0	4.6	1.2	1.0	0.8
A. DÍAS CON NEBLA	días	0.5	0.5	0.2	0.4	1.1	1.6	3.3	3.4	2.8	1.8	0.6	0.5	2.5	0.5	0.5	0.2
A. DÍAS CON NEVADA	días													0.0			
VISIBILIDAD DOMINANTE	km													500			
BIENTO																	
D. DIRECCION DOMINANTE		E	E	O	NE	N	N	NO	N	NO	N	NO	N	NE	N		
D. CALIAS	%	31.1	20.1	11.1	14.6	16.5	21.2	27.0	20.2	22.3	24.4	22.3	33.3	22.0	31.1	20.1	11.1
D. VELOCIDAD MEDIA	m/s	3.7	3.9	3.9	3.9	4.2	4.1	3.9	3.9	3.8	4.0	3.9	4.0	3.7	3.7	3.9	3.9
D. VELOCIDAD MÁXIMA	m/s	1.8	2.4	1.9	1.5	1.2	1.3	1.4	1.1	0.9	1.0	1.5	2.3	2.4	1.8	2.4	1.9
A. MÁXIMO DIARIO	m/s	7.2	8.0	8.7	8.6	9.0	7.6	7.8	8.1	7.5	7.7	6.5	6.2	7.7	7.2	8.0	8.7

A Normales Climatológicas, Observatorio Sinóptico (1971-2000), Servicio Meteorológico Nacional - Comisión Nacional del Agua [http://smn.cna.gov.mx/] CUAJIMALPA
 B Normales Climatológicas, Observatorio Sinóptico (1971-2000), Servicio Meteorológico Nacional - Comisión Nacional del Agua [http://smn.cna.gov.mx/] TACUBAYA
 C Cálculo de la Radiación Solar Instantánea en la República Mexicana. J.F. Zayas I.I. UNAM 472. 1983
 D Atlas del agua de la República Mexicana. SARH-TACUBAYA
 E Datos calculados.
 E2 Datos calculados con base en los algoritmos del Dr. Adalberto Tejeda M., Programa para el cálculo de la Humedad Relativa. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. sf
 F Cf. NOAA - National Geophysical Data Center. National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/>
 G Cf. Environment Canada. <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=En&n=5FBF816A-1>
 H Cf. Environment Canada. <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=En&n=86C0425B-1#h2>
 I Cf. García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. México: UNAM
 J Cf. Schjeltan, M. Et al. 1990. Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura. México: IMSS 7300.

El clima y el confort higrotérmico

El confort higrotérmico se define como la ausencia de malestar térmico. La sensación de comodidad surge de la estancia en un microclima que evite la reacción del cuerpo, ahorrando gastos de energía metabólica. La pregunta sería ¿cuál es esa temperatura?; ¿cuál es esa humedad? Existen numerosos estudios sobre las condiciones del confort higrotérmico del cuerpo humano; quizás uno de los más renombrados es el realizado por el profesor danés Povl Ole Fanger (1970), del International Centre for Indoor Environment and Energy de la Universidad Técnica de Dinamarca.

En lo que se refiere a la humedad, la mayoría de los autores coincide en que el cuerpo humano se encuentra en condiciones de confort en un rango muy amplio, entre 20 y 80%, aunque algunos lo sitúan entre 30 y 70 por ciento.

En lo que se refiere al confort térmico, los hermanos Olgay (1963) proponen que la temperatura de confort universal, para efectos de diseño arquitectónico, se considere entre 18 y 26 °C. A partir de estos parámetros se analiza la temperatura media mensual; si está dentro del rango significa que no se requiere calentamiento o enfriamiento. Cuando está por debajo o por arriba del rango, quiere decir que requerimos calentamiento o enfriamiento, según sea el caso. El diferencial que resulte se multiplica por el número de días y estos serán los grados requeridos para obtener condiciones de confort. A la unidad de referencia se le denomina Días grado.

Por su parte, Szokolay (1984) propone ajustar el rango de confort de acuerdo con las condiciones climatológicas de cada lugar. Para ello plantea como referencia la temperatura neutra (óptima), más/ menos 2.5 °C. Aplicando la fórmula de Szokolay, para Cuajimalpa tendríamos:

$$T_n = 17.6 + 0.31 (t_{ma})$$

$$Z_{c_{local}} = T_n \pm 2.5 \text{ °C}$$

donde: T_n = Temperatura neutra
 T_{ma} = Temperatura media anual
 $Z_{c_{local}}$ = Zona de confort térmico del lugar

Incorporando los datos numéricos:

$$T_n = 17.6 + 0.31(13.1) = 21.7$$

Por lo tanto, la zona de confort se ubica en:

$$Zc_{Cuajimalpa} = 21.7^{\circ}\text{C} \pm 2.5^{\circ}\text{C}$$

Lo que significa que el rango de confort promedio anual en la zona de Cuajimalpa oscila entre 19.2 y 24.2 °C, para una persona en condición sedentaria y con una vestimenta (grado de arropamiento) normal.

CUADRO 2.

DATOS ADICIONALES															
fte	Datos	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
ANALISIS SOLAR (dia 21, 12:00 hr)															
E	Día Juliano	21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355	
E	hora	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
E	Ángulo diario	radiantes	0.34	0.88	1.36	1.89	2.41	2.94	3.46	3.99	4.53	5.04	5.58	6.09	
E	Declinación	gd	-20.09	-10.84	0.00	11.58	20.02	23.45	20.64	12.38	1.03	-10.42	-19.76	-23.45	
E	Altura Solar	gd	50.6	59.8	70.7	82.2	89.3	85.9	88.7	83.0	71.7	60.2	50.9	47.2	
E	Acimut	gd	0.0	0.0	0.0	0.0	180.0	180.0	180.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
E	Orto	h	6.49	6.26	6.00	5.72	5.51	5.42	5.49	5.71	5.98	6.25	6.48	6.58	6.00
E	Ocaso	h	17.51	17.74	18.00	18.28	18.49	18.58	18.51	18.29	18.02	17.75	17.52	17.42	18.00
E	Duración del día	h	11.02	11.49	12.00	12.55	12.98	13.17	13.01	12.59	12.05	11.51	11.03	10.83	12.00
E	Sol en el cenit														
E	fecha 1		138.39	138.00	18 de mayo										
E	fecha 2		208.60	208.00	27 de julio										
F	Declinación Magnética	gms	4°93'	E	08/05/16										
fte	Datos	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
CONFORT															
Zona de confort térmico mensual															
E	[Zc]	°C	23.6	23.8	24.5	24.8	24.9	24.5	24.2	24.3	24.2	24.1	23.8	23.5	24.2
E	Tn	°C	21.1	21.3	22.0	22.3	22.4	22.0	21.7	21.8	21.7	21.6	21.3	21.0	21.7
E	[ZCi]	°C	18.6	18.8	19.5	19.8	19.9	19.5	19.2	19.3	19.2	19.1	18.8	18.5	19.2
Confort de Humedad															
	Superior	%	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
	Inferior	%	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Predicted Mean Vote (PMV) - Voto medio estimado															
	Máxima														
	Media														
	Mínima														
Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) - porcentaje estimado de insatisfacción															
	Máxima	%													
	Media	%													
	Mínima	%													
Nuevo Wind Chill															
G	Mínima	°C	3.22	3.09	6.13	7.81	9.19	8.39	7.47	7.99	8.20	7.14	4.85	2.83	5.47
G	Diferencia	°C	-1.48	-2.01	-1.17	-0.59	-0.11	-0.31	-0.53	-0.11	0.00	-0.06	-0.95	-1.97	-1.64
Humidex															
H	Máxima	°C	17.70	18.60	21.10	21.70	22.00	19.80	18.40	18.60	18.20	18.40	17.80	17.50	19.15
H	Diferencia	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Límite de Radiación Solar															
	Máximo	W/m²	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
	Mínimo	W/m²	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Límite de viento															
	Velocidad en interiores	m/s	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Nubosidad en porcentaje															
E	Días despejados	%	36.1%	27.1%	29.7%	15.3%	10.3%	6.7%	2.6%	5.5%	12.0%	10.6%	22.3%	26.8%	17.1%
E	Medio nublados	%	50.3%	59.6%	58.7%	61.3%	61.3%	31.7%	27.4%	26.5%	19.7%	39.4%	57.0%	51.9%	45.4%
E	Días nublados	%	13.5%	13.2%	11.6%	23.3%	28.4%	61.7%	70.0%	68.1%	68.3%	50.0%	20.7%	21.3%	37.5%

Movimiento del aire

El movimiento del aire tiene efectos térmicos en las personas, ya que por medio de él se disipa el calor del organismo. También tiene efectos mecánicos en la sensación de confort; cuando su velocidad está por arriba de 1 m/seg resulta desagradable. En el caso de Cuajimalpa, dada su condición de tener un bioclima semifrío-húmedo, deben evitarse velocidades por arriba de 0.25 m/seg para prevenir un enfriamiento.

SENSACIONES SUBJETIVAS DE ACUERDO CON LA VELOCIDAD DEL VIENTO (SZOKOLAY, 1981)

Menor a	0.25 m/ seg.	imperceptible
De	0.25 a 0.50 m/ seg.	agradable
De	0.50 a 1.00 m/ seg.	perceptible
De	1.00 a 1.50 m/ seg.	desagradable
Mayor a	1.50 m/ seg.	muy molesto

Por no existir datos sobre el comportamiento del viento en Cuajimalpa, se presentan, a manera de ejemplo, los de Tacubaya, que es la estación meteorológica más cercana al sitio.

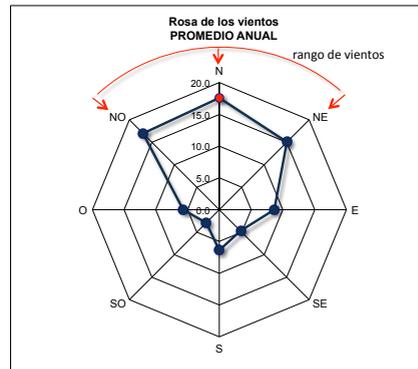
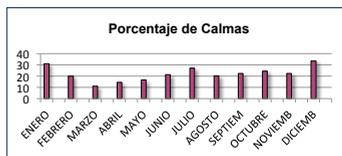
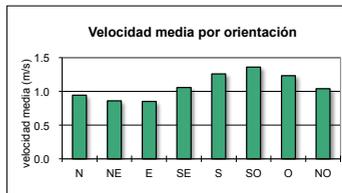
CUADRO 3

Tacubaya		
LATITUD	19° 21'	
LONGITUD	99° 18'	
ALTITUD	2777	msnm

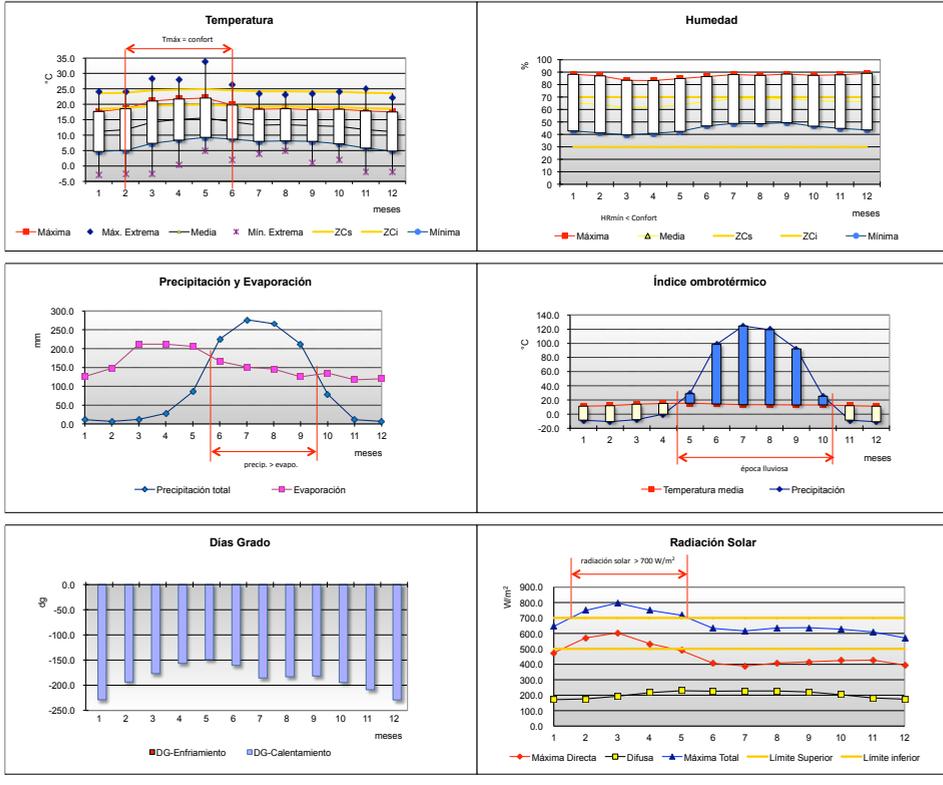
mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variable	prom.	máx.
ENERO	f	11.2	13.0	13.1	4.2	7.3	2.9	5.1	12.1	31.1	0.0		13.1
	v	0.7	0.7	0.7	0.9	1.5	1.8	1.7	1.1			1.1	1.8
FEBRERO	f	10.0	13.8	14.6	6.4	8.9	6.5	11.3	8.4	20.1	0.0	1.1	14.6
	v	0.9	0.9	0.9	1.1	2.1	2.4	1.9	1.3			1.4	2.4
MARZO	f	9.1	12.8	13.1	8.9	10.2	9.8	13.4	11.6	11.1	0.0	1.4	13.4
	v	0.6	0.9	1.1	1.6	1.6	1.8	1.9	1.4			1.4	1.9
ABRIL	f	13.5	17.2	11.7	5.1	10.3	3.9	7.7	16.0	14.6	0.0	1.2	17.2
	v	1.0	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3	1.5	1.3			1.2	1.5
MAYO	f	24.4	21.6	7.3	4.2	3.9	3.3	5.7	13.1	16.5	0.0	1.1	24.4
	v	1.2	1.1	1.0	0.8	1.2	1.2	1.1	1.1			1.1	1.2
JUNIO	f	23.1	19.8	6.5	3.1	8.5	1.8	3.8	12.2	21.2	0.0	1.1	23.1
	v	1.1	1.0	0.8	1.2	1.1	1.0	1.3	1.0			1.1	1.3
JULIO	f	18.9	10.0	4.5	3.6	6.4	0.5	2.7	26.4	27.0	0.0	1.0	26.4
	v	1.0	0.8	0.9	1.3	1.4	0.5	0.9	0.9			1.0	1.4
AGOSTO	f	23.0	15.4	5.3	3.3	4.8	0.9	3.7	23.4	20.2	0.0	0.9	23.4
	v	0.9	0.8	1.1	1.0	0.9	0.7	1.0	0.9			0.9	1.1
SEPTIEMBRE	f	26.4	11.2	5.8	2.6	2.9	1.3	4.9	22.6	22.3	0.0	0.8	26.4
	v	0.8	0.8	0.9	0.8	1.7	0.9	0.8	0.7			0.8	0.9
OCTUBRE	f	21.9	16.5	4.7	3.1	1.7	0.9	2.5	25.2	24.4	0.0	0.8	25.2
	v	1.0	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.7	1.0			0.8	1.0
NOVIEMBRE	f	22.3	15.6	6.1	3.9	4.2	1.4	3.8	20.4	22.3	0.0	1.0	22.3
	v	0.9	0.7	0.7	1.1	1.0	1.5	1.0	0.9			1.0	1.5
DICIEMBRE	f	8.0	13.5	11.3	8.1	7.5	1.9	3.9	12.5	33.3	0.0	1.2	13.5
	v	1.2	0.8	0.7	0.9	1.8	2.3	1.0	0.9			1.2	2.3
ANUAL	f	17.6	15.0	8.7	4.7	6.4	2.9	5.7	17.0	22.0	0.0	1.1	17.6
	v	0.9	0.9	0.9	1.1	1.3	1.4	1.2	1.0			1.1	1.4

frecuencia	f	%
velocidad	v	m/s

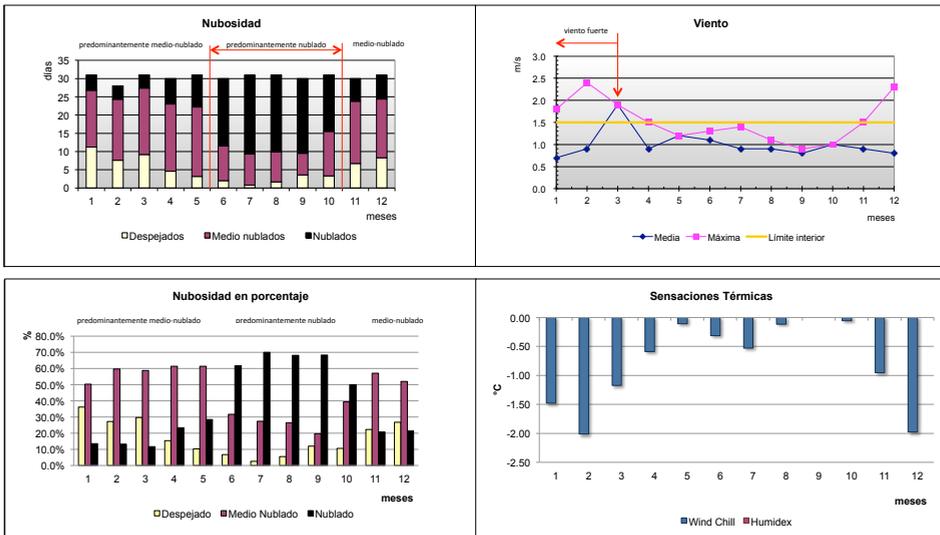
fuente: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



CUADRO 4
GRÁFICAS CLIMÁTICAS
Cuajimalpa



CUADRO 5

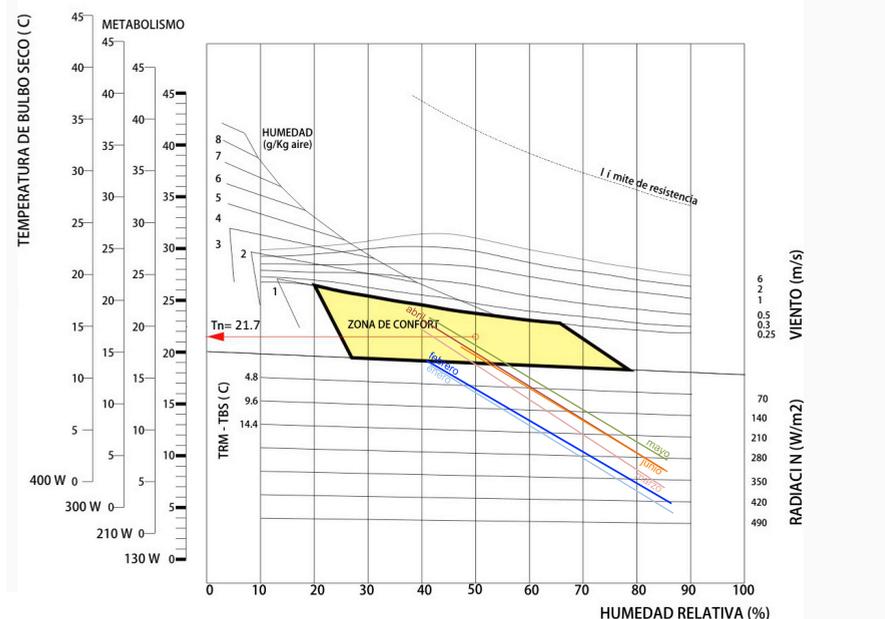


Datos climáticos: horarios

Todos sabemos que a lo largo del día la temperatura y la humedad varían y que existe una estrecha relación entre ellas: a mayor temperatura menor humedad, y viceversa. Este comportamiento por lo general puede representarse gráficamente mediante una curva senoidal que nos permite conocer la temperatura y la humedad horaria. La temperatura mínima y humedad máxima suceden al amanecer, y la temperatura máxima y humedad mínima unas tres horas después de la posición más alta del sol; en nuestra latitud suele suceder a las seis de la mañana y a las tres de la tarde, en ambos casos hora solar. Esto resulta relevante ya que las edificaciones y sus locales tienen horarios de uso y por tanto nos interesa conocer las condiciones para determinados momentos. Por ejemplo, las escuelas tienen horarios diurnos, por lo que no nos debe preocupar la problemática nocturna; al contrario de lo que son los cuartos de un hotel, donde la condición nocturna es la fundamental (Cuadro 6 y 7 al reverso de la página).

Como resultado del análisis, podemos trasladar los datos al método gráfico propuesto por Olgay (1963).

CARTA BIOCLIMÁTICA PARA CUAJIMALPA. PRIMER SEMESTRE



130 W actividad ligera sentado
 210 W actividad dinámica de escritorio
 300 W actividad con movimiento del cuerpo
 400 W actividad intensa con movimiento del cuerpo

Durante el primer semestre del año, para una actividad ligera sentado, se hace evidente el requerimiento de calentamiento y solo durante los meses de marzo, abril, mayo y junio hay periodos dentro del rango de confort. En cambio para una actividad intensa se podría hablar de periodos de confort en todos los meses.

CUADRO 6

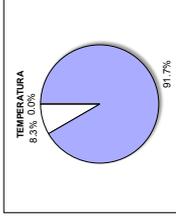
Temperaturas y humedades horarias

Cajalimajpa	
UTM	19T1-2000
COORDENADAS	SENERIO
SENERIO	19T 21
LONGITUD	99.18
ALTITUD	2777 msnm

TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA	
db	24.17	db	70
Meios de	18.3.7	Meios de	30

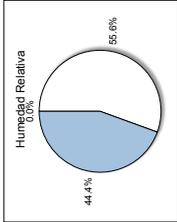
T_{mp} = 21.7

TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		COMFORT		PRO																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8.0	6.9	5.9	4.8	4.7	5.1	6.2	7.9	10.1	12.3	14.4	16.2	17.3	17.7	17.6	17.1	16.5	15.5	14.5	13.2	11.9	10.5	9.2	11.2
8.4	7.3	6.4	5.7	5.2	5.1	5.5	6.6	8.4	10.6	12.9	15.2	17.0	18.2	18.6	18.4	18.0	17.3	16.3	15.2	13.8	12.4	11.0	9.7
10.8	9.8	8.6	7.9	7.5	7.3	7.7	8.9	10.7	13.0	15.4	17.6	19.5	20.7	21.1	20.9	20.5	19.8	18.8	17.7	16.2	14.9	13.5	12.1
11.8	10.6	9.7	9.0	8.5	8.4	8.8	10.0	11.8	14.4	16.3	18.4	20.2	21.3	21.7	21.6	21.1	20.5	19.5	18.4	17.2	15.9	14.5	13.1
12.4	11.4	10.5	9.8	9.4	9.3	9.7	10.8	12.4	14.4	16.6	18.8	20.5	21.6	22.0	21.9	21.4	20.8	19.9	18.8	17.5	16.2	14.9	13.6
11.5	10.6	9.8	9.2	8.8	8.7	9.0	10.0	11.5	13.4	15.3	17.1	18.5	19.1	18.9	18.7	18.3	18.8	18.0	17.1	16.1	15.0	13.8	12.6
10.6	9.7	9.0	8.4	8.1	8.0	8.3	9.2	10.6	12.6	14.1	15.8	17.2	18.1	18.4	18.3	18.0	17.4	16.7	15.8	14.8	13.7	12.7	11.6
10.8	9.9	9.1	8.6	8.2	8.1	8.4	9.4	10.8	12.6	14.4	16.3	18.6	19.5	19.2	17.6	16.9	16.0	15.1	14.0	12.9	11.8	13.4	
10.6	9.7	9.0	8.4	8.1	8.0	8.3	9.2	10.5	12.2	14.0	15.6	17.0	17.9	18.2	18.1	17.8	17.2	16.5	15.7	14.7	13.6	12.6	11.5
8.8	7.8	6.9	6.3	5.9	5.8	5.2	7.2	9.5	10.8	12.3	14.3	16.4	18.4	17.4	17.8	17.3	16.7	15.8	14.8	13.7	12.4	11.2	9.9
7.9	6.9	6.0	5.3	4.9	4.8	5.2	6.3	7.9	9.9	12.1	14.3	16.9	17.1	17.5	17.4	16.9	16.3	15.4	14.3	13.0	11.7	10.4	9.1
10.1	9.1	8.3	7.6	7.2	7.1	7.5	8.5	10.1	12.1	14.2	16.1	17.7	18.8	19.2	19.0	18.6	18.0	17.2	16.1	15.0	13.8	12.5	11.3



Frio	19.17	Confort	8.3%	Calor	24.17
100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
75.0%	25.0%	75.0%	25.0%	0.0%	0.0%
70.8%	29.2%	70.8%	29.2%	0.0%	0.0%
83.3%	16.7%	83.3%	16.7%	0.0%	0.0%
100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
91.7%	8.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

HUMEDAD RELATIVA		COMFORT		PRO																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
77	81	84	86	88	88	87	83	77	69	62	54	48	44	43	43	45	47	50	54	56	63	68	73
76	80	83	85	87	87	85	82	76	68	60	53	47	43	41	42	43	46	49	53	57	62	67	71
72	76	79	82	83	83	82	78	72	65	58	51	45	41	40	40	41	44	47	51	55	59	64	68
73	76	79	81	83	83	82	78	73	66	59	51	46	42	41	41	43	46	48	51	55	60	64	69
74	78	81	83	84	85	84	80	74	67	60	53	47	44	42	43	44	46	48	53	57	61	66	70
76	80	83	85	86	86	85	82	76	69	62	54	48	44	43	43	45	47	50	54	58	63	68	73
78	81	84	86	87	87	86	83	78	71	65	58	50	46	45	46	49	50	52	56	60	64	70	74
79	82	85	87	88	88	87	84	79	72	66	59	54	51	50	50	51	53	56	59	63	67	71	75
77	81	84	86	87	88	86	83	77	71	64	57	51	48	47	47	48	51	53	57	61	65	69	73
77	81	84	86	87	88	87	83	77	70	63	56	50	46	45	45	47	49	52	56	60	64	69	73
76	81	85	87	89	89	88	84	78	70	62	55	49	45	44	44	46	48	51	55	59	64	69	73
76	80	83	85	86	87	86	82	76	69	62	55	50	46	45	45	46	49	52	55	59	64	68	72



Seco	30%	Confort	70%	Humedo	0%
0.0%	58.3%	0.0%	58.3%	41.7%	0.0%
0.0%	58.3%	0.0%	58.3%	41.7%	0.0%
0.0%	62.5%	0.0%	62.5%	37.5%	0.0%
0.0%	62.5%	0.0%	62.5%	37.5%	0.0%
0.0%	58.3%	0.0%	58.3%	41.7%	0.0%
0.0%	54.2%	0.0%	54.2%	45.8%	0.0%
0.0%	50.0%	0.0%	50.0%	50.0%	0.0%
0.0%	50.0%	0.0%	50.0%	50.0%	0.0%
0.0%	54.2%	0.0%	54.2%	45.8%	0.0%
0.0%	54.2%	0.0%	54.2%	45.8%	0.0%
0.0%	54.2%	0.0%	54.2%	45.8%	0.0%
0.0%	55.6%	0.0%	55.6%	44.4%	0.0%

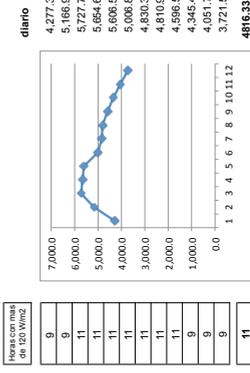
CUADRO 7

Radiación Solar Teórica

Cualjima Ipa	
CLIMA	Chiwikwili
BIOCLIMA	Semiárido húmedo
BIOTERRESTRE	35° 41'
LONGITUD	99° 41'
ALTITUD	2177 msnnm

más de 700	entre 500 y 700	entre 300 y 500	entre 0 y 120	no hay radiación
------------	-----------------	-----------------	---------------	------------------

MES	MÁXIMA TOTAL	Wm2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Enero	645		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.2	226.8	388.8	524.5	613.9	645.0	613.9	524.5	388.8	226.8	63.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febrero	748		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	109.6	293.7	472.8	619.0	714.8	748.0	619.0	472.8	293.7	109.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	797		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	157.4	346.9	525.8	670.6	764.5	797.0	670.6	525.8	346.9	157.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Abril	750		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.2	186.7	354.4	515.0	641.0	722.0	750.0	641.0	515.0	354.4	186.7	30.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mayo	718		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.5	205.7	363.3	506.6	620.2	683.0	718.0	620.2	506.6	363.3	205.7	55.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Junio	632		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.2	191.1	327.5	450.8	546.3	610.6	632.0	610.6	546.3	450.8	327.5	191.1	59.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Julio	617		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.4	178.5	313.6	438.2	534.4	595.6	617.0	595.6	438.2	313.6	178.5	49.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	636		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	160.5	304.9	437.8	544.1	612.4	636.0	612.4	544.1	437.8	304.9	160.5	27.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Septiembre	637		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	128.8	279.1	421.8	536.8	611.2	637.0	611.2	536.8	421.8	279.1	128.8	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Octubre	628		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.3	247.7	397.4	520.1	600.2	628.0	600.2	520.1	397.4	247.7	83.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Noviembre	610		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.9	214.5	368.4	498.4	580.6	610.0	580.6	498.4	368.4	214.5	60.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Diciembre	571		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.0	189.7	337.2	469.8	542.5	571.0	542.5	469.8	337.2	189.7	45.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Promedio	666		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	131.5	289.8	439.2	560.2	638.6	665.8	638.6	439.2	289.8	131.5	0.0							



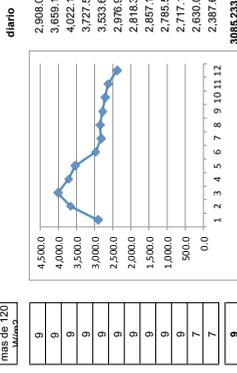
mas de 700 mas de 120

MES	MÁXIMA DIRECTA
Enero	474
Febrero	572
Marzo	603
Abril	534
Mayo	489
Junio	406
Julio	389
Agosto	408
Septiembre	416
Octubre	424
Noviembre	428
Diciembre	396
Promedio	462

RADIACIÓN SOLAR MÁXIMA DIRECTA

mas de 120 mas de 120

MES	MÁXIMA DIRECTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Enero	474	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.0	127.6	251.7	366.0	445.6	474.0	445.6	366.0	251.7	127.6	26.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febrero	572	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.9	177.8	322.0	451.5	540.4	572.0	540.4	451.5	322.0	177.8	51.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	603	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.4	213.2	358.5	486.0	572.4	603.0	572.4	486.0	358.5	213.2	79.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Abril	534	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6	93.9	211.4	333.8	438.8	509.2	534.0	509.2	438.8	333.8	211.4	93.9	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mayo	489	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.9	102.5	208.7	316.2	407.2	467.8	489.0	467.8	407.2	316.2	208.7	102.5	19.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Junio	406	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.0	91.0	178.5	266.1	339.9	389.9	406.0	389.9	339.9	266.1	178.5	91.0	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Julio	389	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.6	82.5	166.9	252.2	324.2	372.2	389.0	372.2	324.2	252.2	166.9	82.5	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	408	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	73.0	162.7	256.8	336.7	389.2	408.0	389.2	336.7	256.8	162.7	73.0	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Septiembre	416	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	66.4	148.7	248.5	335.9	385.1	416.0	385.1	335.9	248.5	148.7	66.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Octubre	424	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.1	132.5	239.3	335.0	400.7	424.0	400.7	335.0	239.3	132.5	39.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Noviembre	428	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	116.9	227.8	330.8	402.4	428.0	402.4	330.8	227.8	116.9	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Diciembre	396	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5	99.9	205.0	302.9	371.5	396.0	371.5	302.9	205.0	99.9	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Promedio	462	0.0	60.8	163.2	274.5	372.0	438.2	461.6	438.2	372.0	274.5	163.2	60.8	0.0												

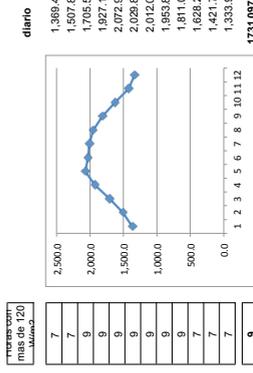


mas de 120 mas de 120

RADIACIÓN SOLAR MÁXIMA DIFUSA

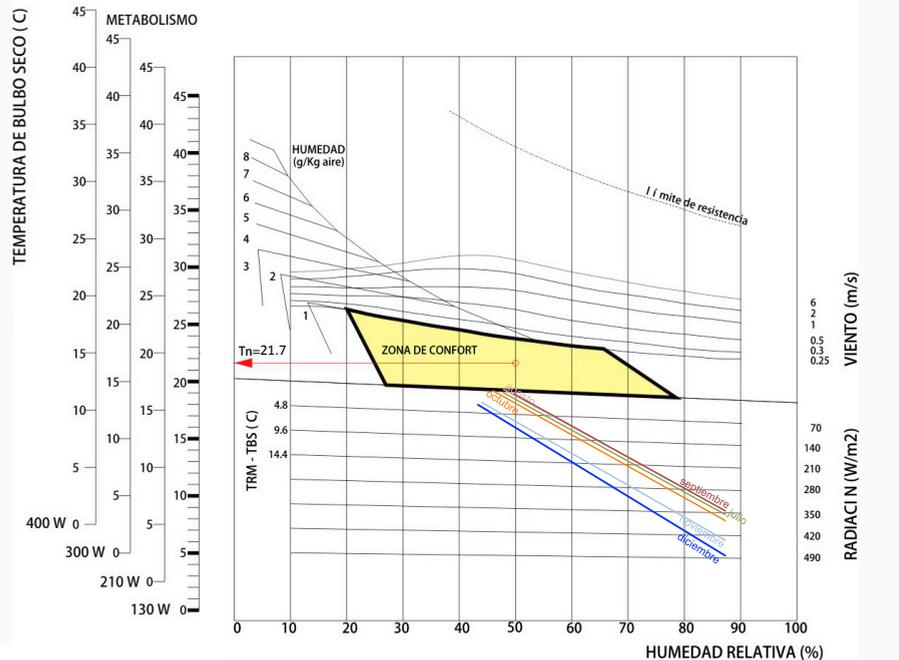
mas de 120 mas de 120

MES	MÁXIMA DIFUSA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Enero	171	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.2	96.2	137.0	156.5	168.3	171.0	168.3	156.5	137.0	96.2	37.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Febrero	176	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.7	116.9	150.4	167.5	174.4	176.0	174.4	167.5	150.4	116.9	57.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	194	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.0	133.7	167.3	184.7	192.1	194.0	192.1	184.7	167.3	133.7	78.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Abril	216	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.6	92.8	146.0	202.2	212.8	216.0	212.8	212.8	202.2	146.0	92.8	20.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mayo	229	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.5	103.2	154.6	181.0	213.0	225.2	229.0	225.2	213.0	181.0	154.6	103.2	35.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Junio	228	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.1	100.0	149.0	184.7	208.1	221.7	228.0	221.7	208.1	184.7	149.0	100.0	39.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Julio	228	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.8	86.0	146.6	184.0	209.1	223.4	228.0	223.4	209.1	184.0	146.6	86.0	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	221	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.8	86.0	146.6	184.0	209.1	223.4	228.0	223.4	209.1	184.0	146.6	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Septiembre	228	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	72.4	131.0	172.3	200.9	216.2	221.0	216.2	200.9	172.3	131.0	72.4	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Octubre	204	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.2	116.2	165.1	185.1	199.5	204.0	199.5	185.1	165.1	116.2	36.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Noviembre	182	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.9	98.6	140.5	165.6	178.2	182.0	178.2	165.6	140.5	98.6	54.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Diciembre	175	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.5	89.8	132.2	157.9	171.1	175.0	171.1	157.9	132.2	89.8	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Promedio	204	0.0	70.7	126.6	164.8	186.2	200.4	186.2	164.8	126.6	70.7	0.0														



mas de 120 mas de 120

CARTA BIOCLIMÁTICA PARA CUAJIMALPA. SEGUNDO SEMESTRE



130 W actividad ligera sentado
 210 W actividad dinámica de escritorio
 300 W actividad con movimiento del cuerpo
 400 W actividad intensa con movimiento del cuerpo

Durante el segundo semestre del año, para una actividad ligera sentado, se requiere de arropamiento o calentamiento.
 En cambio para una actividad intensa se podría hablar de confort durante algunas horas.

Como resultado vemos que durante el primer semestre del año, para una actividad ligera, sentado, en los meses de enero y febrero requerimos de arropamiento significativo o de calentamiento durante todo el día, y durante los meses de marzo, abril, mayo y junio, hay periodos diurnos dentro del rango de confort. En cambio, para una actividad intensa, con movimiento del cuerpo, podría hablarse de confort diurno en todos los meses del primer semestre.

En el caso del segundo semestre del año, para todos los meses y teniendo una actividad ligera, sentado, se requiere de arropamiento significativo o de calentamiento. En cambio, para una actividad intensa del cuerpo, podría hablarse de confort en algunas horas diurnas.

De acuerdo con el análisis realizado para la zona de Cuajimalpa, podemos proponer, en principio, un criterio general de diseño: promover el calentamiento solar pasivo y conservar el calor interno, reduciendo el flujo conductivo de calor y evitando las pérdidas de calor por infiltraciones de aire. Adicionalmente se recomienda incrementar el nivel de arropamiento para actividades sedentarias. Traducido a elementos arquitectónicos y funcionales:

luminosidad en el exterior es alta; por ejemplo, en un día nublado hay alrededor de 15 000 luxes, y en un día asoleado, más de 24 000. En México existe una norma de iluminación para los edificios donde se realizan trabajos visuales, ya sea de día o de noche. El cuadro 9 corresponde a dicha norma, donde adicionalmente se resaltan aquellos espacios típicos de edificios educativos.

CUADRO 9. CONDICIONES DE ILUMINACIÓN EN LOS CENTROS DE TRABAJO.
NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-025-STPS-2008

<i>Tarea visual</i>	<i>Área de trabajo</i>	<i>Niveles mínimos de iluminación (luxes)</i>
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos, salas de espera, salas de descanso, cuartos de almacén, plataformas, cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: <i>ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.</i>	1 000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; exactas, muy prolongadas y muy especiales, de extremadamente bajo, contraste y pequeño tamaño.	2 000

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 5 de junio de 2008.

Calidad del aire y ventilación en los interiores

Estar expuesto a un aire contaminado dentro de espacios arquitectónicos puede ser tan arriesgado como en los exteriores, ya que gran porcentaje de la población pasa el mayor tiempo del día dentro de ellos, y además porque los niveles de saturación de algunos contaminantes, en interiores, son frecuentemente más altos.

La concentración de personas en espacios cerrados: teatros, cines, discotecas, auditorios, salones, refugios; requiere que el bióxido de carbono que se genera, por el proceso natural respiratorio, sea removido y reemplazado por oxígeno. Niveles menores de 12% de oxígeno o mayores de 5% de bióxido de carbono son peligrosos, inclusive por periodos cortos. Además existen otras fuentes de contaminación del aire en interiores, que cuando se tienen en concentraciones altas pueden ser dañinas; en México no existen normas al respecto.

CUADRO 10. PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN INTERIORES Y CONTAMINANTE PRODUCIDO

<i>Fuente</i>	<i>Tipo de contaminantes</i>
Materiales de construcción	
Concreto, piedras	Radón
Aglomerados y laminados de madera	Formaldehídos, olores
Aislantes	Formaldehídos y fibra de vidrio
Pinturas	Mercurio, materia orgánica, olores
Fuentes interiores de la construcción	
Calentamiento y cocina	CO, NO, CO ₂ , formaldehídos, olores
Mobiliario	Orgánicos, formaldehídos, olores
Servicio de agua, gas natural	Radón
Ocupación humana	
Actividad metabólica	H ₂ O, CO ₂ , NH ₃ , olores
Actividad humana	
Tabaco	CO, NO ₂ , orgánicos, olores
Aerosoles	Fluorocarbono, cloruro de vinilo, orgánicos, olores
Productos de cocina y de limpieza	Orgánicos, NH ₃ , olores
Ocupaciones y pasatiempos	CO ₂ , orgánicos, olores

Fuente: ASHRAE Handbook: Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, EUA, 2001.

Las condiciones de ventilación en los espacios son un factor determinante en el comportamiento de las sensaciones odoríficas. Existen propuestas de requerimientos mínimos de recambio de aire para este efecto, y están principalmente centradas en dos aspectos: saturación de ocupación por personas y por humo de cigarro.

CUADRO 11. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE VENTILACIÓN (EN FUNCIÓN DE OLORES)

<i>Volumen de aire por persona (m3)</i>	<i>Requerimientos mínimos de ventilación</i>			
	Adulto		Niño	
	l/s	m3/h	l/s	m3/h
13.4	3.3	11.9	5.7	20.5
5.7	7.5	27.0	9.9	35.6
2.8	11.8	42.5	13.7	49.3

Fuente: Croome, D. y B. Roberts, *Airconditioning and ventilation of buildings*, Oxford, Reino Unido, Pergamon Press, 1981.

Mediante la renovación del aire se provee de oxígeno a los espacios; éste es un elemento vital. En los espacios cerrados y con ocupación, el oxígeno se va agotando debido a los procesos naturales de la respiración, por lo tanto es necesario renovar el aire pobre con aire más rico en oxígeno. En el caso de Cuajimalpa, por sus condiciones térmicas lo recomendable es utilizar sistemas de ventilación inducida, permitiendo sólo la entrada de aire en determinadas circunstancias.

CUADRO 12. REQUERIMIENTOS DE VENTILACIÓN DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DE LA CIUDAD DE MÉXICO

<i>Tipo de local</i>	<i>Cambio de aire por hora</i>
Vestíbulos	1
Locales de trabajo y reunión en general	6
Baños domésticos	6
Cocinas domésticas	10
Baños públicos	10
Cafeterías y restaurantes	10
Estacionamientos	10
Cocinas comerciales	20
Centros nocturnos y bares	25
Salones de fiestas	25
El área de las aberturas de ventilación no debe ser menor a 5% del área del local	

Comportamiento acústico

En el concepto de sustentabilidad está implicada la calidad de los espacios arquitectónicos en función de los usuarios, por ello el aspecto acústico resulta relevante. Sin embargo, es difícil establecer un criterio general debido a que el confort auditivo en un ambiente acústico se caracteriza porque: “el carácter y magnitud de todos los sonidos son compatibles con el uso satisfactorio del espacio, con el propósito para el que es utilizado” (Rodríguez et al., 2002: 183).

Como referencia se presenta el cuadro 13, propuesto por Rodríguez Manzo (Rodríguez *et al.*, 2002: 200).

CUADRO 13. CLASIFICACIÓN DEL CONFORT ACÚSTICO EN ESPACIOS Y USOS ARQUITECTÓNICOS

Tipo y grado de confort	Espacios/ usos	Nivel sonoro ambiental dBA	Calidad acústica T60*
Aislado A	Espacios con requerimientos acústicos críticos: teatros, auditorios, estudios de grabación; se requiere de la intervención de un especialista.	20-35	Variable: vivo para música, moderado donde se requiere inteligibilidad, apagado en estudios. El T60 es corto para estudios, corto a moderado para inteligibilidad en teatros y auditorios, prolongado para música sin amplificar.
Privado B	Oficinas ejecutivas, salas de conferencia, recámaras, cuartos de hotel y de hospital, auditorios pequeños.	35-40	Moderado/ inteligibilidad corto a medio (0.8-1.2 seg., audición-lenguaje)
Moderado C	Oficinas semiprivadas, aulas escolares, bibliotecas, estancias y comedores residenciales.	35 - 45	Moderado/ inteligibilidad corto (0.5-0.9 seg., atención, lenguaje).
General D	Oficinas abiertas, áreas secretariales, salas de estar, tiendas, restaurantes, cafeterías.		Moderado medio (1.1-1.5 seg., audición, lenguaje, música).
Público E	Lobbies, corredores, circulaciones, salas de espera, clínicas, laboratorios, oficinas generales, talleres escolares, salas de dibujo.	45-50	Moderado medio (1.1-1.5 seg., audición, lenguaje, música).

<i>Tipo y grado de confort</i>	<i>Espacios/ usos</i>	<i>Nivel sonoro ambiental dBA</i>	<i>Calidad acústica T60*</i>
Ruido moderado F	Talleres ligeros, cuartos de cómputo, cocinas, lavanderías, grandes tiendas, almacenes, estacionamientos.	50-60	Moderado a vivo medio (1.1-1.5 seg., audición, lenguaje, música).
Ruido general G	Industria y espacios sin requerimientos de comunicación e intercomunicación continua.	65-75	Moderado a vivo medio a prolongado (1.4-1.9 seg., audición, lenguaje, música).

* T60 = tiempo de reverberación del espacio, en segundos.

Fuente: "Confort acústico en la arquitectura", en M. Rodríguez et al., 2002, Introducción a la arquitectura bioclimática.

Sistemas activos e híbridos para una construcción sustentable

Hoy en día requerimos del uso de energía para: la iluminación nocturna, mecanismos y aparatos eléctricos, el calentamiento de agua o la cocción de alimentos, etc. Una construcción sustentable se caracteriza por el uso de dispositivos con algún aporte de energía convencional y por la incorporación de sistemas alternativos, tales como: paneles fotovoltaicos, generadores eólicos o biomasa, que ayudan a proporcionar electricidad sustentable para cualquier uso, y energía solar térmica para calentamiento de agua, calefacción y aire acondicionado. Estos sistemas son necesarios cuando se pretende hacer un uso eficiente de la energía y los recursos no renovables:

Otro aspecto fundamental debe ser el manejo y control del agua: abastecimiento, captación pluvial, plantas de tratamiento, purificación, reutilización. Teniendo en cuenta los niveles de precipitación y humedad a lo largo del año en Cuajimalpa, una alternativa importante es la captación pluvial.

No menos atención debemos prestar al manejo de desechos (líquidos y sólidos) y al control de posibles contaminantes.

Referencias bibliográficas

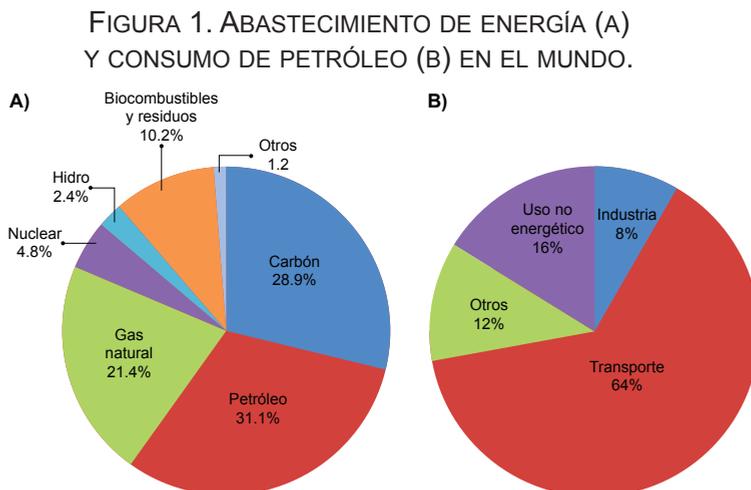
- Auliciems, A. y Szokolay S. (1997), *Thermal Comfort*, Brisbane, PLEA/ University of Queensland.
- Fanger, P.O. (1970), *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*, Copenhagen, Danish Technical Press
- Olgay, V. (1963), *Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*, Nueva Jersey, Princeton University Press.
- Rodríguez, M. et al. (2002), *Introducción a la arquitectura bioclimática*, Ciudad de México, Limusa/ UAM.
- Schjetnan, M. et al. (1990), *Criterios de adecuación bioclimática en la arquitectura*, 7300, México, IMSS.
- Szokolay, S. (1981), *Environmental science handbook*. Lancashire, Inglaterra, The Construction Press.
- (1984), "Passive and low energy design for thermal and visual comfort", en PLEA, Passive and low energy. *Ecotechniques applied to housing*, Nueva York, EUA, Pergamon Press
- Croome, D. y B. Roberts (1981), *Airconditioning and ventilation of buildings*, Oxford, Reino Unido, Pergamon Press.

Nuevos energéticos: los biocombustibles

Sylvie Le Borgne
Guillermo Baquerizo
Rodolfo Quintero y Ramírez

Situación actual de los energéticos y los combustibles

Hoy en día el abastecimiento mundial de energías primarias se encuentra mayoritariamente supeditado a fuentes fósiles, como petróleo, carbón y gas, en porcentajes que pueden superar el 80% (figura 1a). Otras fuentes minoritarias de energía son las energías de origen nuclear e hídrico, así como los biocombustibles y residuos, estos últimos con apenas un 10.2% del total (figura 1a). En cuanto al petróleo, reconocido como la principal fuente de energía de origen fósil, su uso se concentra principalmente en el rubro de transporte (figura 1b).

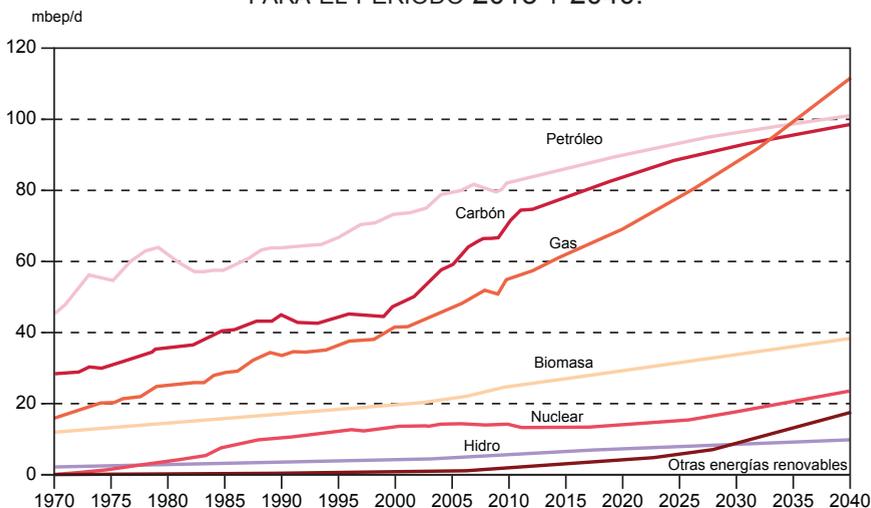


Fuente: International Energy Agency (2015).

El petróleo se formó hace millones de años como resultado de la transformación, durante tiempos geológicos, de la materia orgánica de origen vegetal y animal acumulada en el interior de la tierra, en condiciones de alta presión y temperatura (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014). El petróleo, al igual que otros combustibles de origen fósil, es una fuente de energía no renovable, ya que su generación es mucho más lenta que su consumo. De esta manera, se considera que el petróleo está presente en la naturaleza en cantidades finitas con respecto a la escala de tiempo humana.

En cambio las energías renovables son aquellas que provienen de fuentes teóricamente inagotables, como por ejemplo la energía obtenida a partir de biomasa o, las energías eólica y solar. La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal susceptible de ser utilizada como fuente de energía. Actualmente, la biomasa se presenta como la principal fuente de energía renovable, y se prevé que en los próximos años su presencia en el mercado energético mundial seguirá en ascenso (figura 2). La energía derivada de la biomasa se define como bioenergía y es utilizada directamente como combustible (la turba es un ejemplo) o, después que haya sido transformada en biocombustible.

FIGURA 2. PREVISIÓN DE LA DEMANDA MUNDIAL DE ENERGÍA PRIMARIA PARA EL PERIODO 2013 Y 2040.



Fuente: OPEC (2015).

En la actualidad el parque vehicular mundial, incluyendo transporte comercial y de pasajeros, es de aproximadamente 1 200 millones de vehículos, cifra que podría duplicarse en los próximos 20 años como consecuencia del impulso de la clase media en los países emergentes (Pozzi, 2016). Cabe

señalar que los sectores de actividad económica ligados al transporte por carretera y, a la producción y transformación de la energía, son los principales emisores de gases efecto invernadero (GEI) como el óxido de nitrógeno (N_2O) y el dióxido de carbono (CO_2), con contribuciones de un 23.4% y 23.9%, respectivamente, en relación al total de las emisiones, muy por delante del sector combustión industrial (15.2%) y del sector agrícola (10.4%) (Jiménez Herrero, 2011). En este sentido, la sustitución de los combustibles de transportación de origen fósil, como la gasolina y el diésel, por biocombustibles se presenta como una de las posibles alternativas para limitar las emisiones debido a la menor generación de GEI asociada a la producción y uso de este tipo de combustibles, como se verá más adelante en este capítulo.

Combustibles

Los combustibles pueden ser diferenciados entre aquellos utilizados para producir calor o electricidad, y los combustibles líquidos o gaseosos destinados a servir como fuente de energía para motores de transporte. Los primeros tienen un uso “estático”, mientras que los segundos tienen un uso “móvil”, donde se requiere que sean capaces de recorrer la mayor distancia usando el menor volumen de combustible posible.

Por su parte, el poder calorífico de un combustible se define como la cantidad de energía que una masa o un volumen de combustible puede liberar durante la combustión. El cuadro 1 muestra el poder calorífico de algunos combustibles y biocombustibles, donde los mayores valores recaen en los combustibles fósiles y nucleares. Sin embargo esta ventaja debe ser contrastada por su carácter no renovable y por los riesgos asociados a su uso.

CUADRO 1. PODER CALORÍFICO DE ALGUNOS COMBUSTIBLES Y BIOCOMBUSTIBLES.

<i>Combustibles sólidos y líquidos</i>	<i>Poder calorífico (MJ/ kg)</i>
Turba	13.8-20.5
Madera seca	14.4-17.4
Carbón	32.8
Diésel	44.8
Biodiésel	40.2
Aceite vegetal	39-48
Gasolina	47.3
Etanol	30
Uranio natural en reactor normal	500,000

Combustibles gaseosos	Poder calorífico (MJ/ m³)
Hidrógeno	13
Gas natural	52.2
Biogás	23

Fuente: Lee y Shah (2013) y Swedish Gas Technology Center (2012).

El cuadro 2 muestra como el petróleo se caracterizó por ser la fuente principal de energía y la base de la economía y desarrollo durante gran parte del siglo XX. Sin embargo, los primeros motores diseñados por la industria automotriz, a finales del siglo XIX, se basaron en el uso de biocombustibles, ya que en esa época el petróleo era caro y poco utilizado. Así, el vehículo T inventado por Ford era alimentado con etanol, y el motor de Rudolf Diesel funcionaba a base de aceite vegetal. Sin embargo, debido al aumento en la producción de petróleo y a los bajos precios de venta, la producción de combustibles alternativos fue abandonada durante la mayor parte del siglo pasado, dando lugar al uso masivo de la gasolina y del diésel. En los últimos años las crisis petroleras, la inestabilidad política en los países productores de petróleo, el agotamiento de las reservas de petróleo fácilmente extraíble, la contaminación ambiental y la necesidad de incrementar la lucha contra el cambio climático han motivado la búsqueda de nuevas fuentes de energías, más limpias y renovables, como, por ejemplo, las energías derivadas de la biomasa. Es así que a partir de la primera década del siglo XXI los esfuerzos por incrementar la producción y uso de biocombustibles se han multiplicado, principalmente en países desarrollados.

CUADRO 2. FECHAS IMPORTANTE EN EL DESARROLLO DE LOS COMBUSTIBLES Y LOS BIOCMBUSTIBLES.

Cronología	Suceso o dato importante
Hace más de 400 000 años	Se encuentran evidencias de uso controlado del fuego y quema de restos de plantas y huesos en cuevas de África del Sur.
Hasta principios del siglo XX	Quema de madera, turba y aceite de ballena.
1760	Primera Revolución Industrial: uso intensivo del carbón, que es el más contaminante de todos los combustibles fósiles (emisión de gases, lluvia acida, esmog).
1800	Población mundial: 978 000 000
1860	Segunda Revolución Industrial: electricidad y petróleo como nuevas fuentes de energía.
1876	Nikolaus Otto inventa el motor de combustión interna, diseñado para funcionar con etanol.

<i>Cronología</i>	<i>Suceso o dato importante</i>
1897	Rudolfo Diesel inventa el motor basado en el uso de aceite de cacahuete.
1900	Población mundial: 1 650 000 000
Entre 1908 y 1927	Se comercializa el vehículo T de Ford, primer vehículo de combustible flexible, pues funciona con etanol y gasolina.
Durante el siglo XX	Es la época del petróleo barato y abundante. Se hace un uso intensivo de los combustibles fósiles como fuente de energía y materia prima para la obtención de otros diferentes: gasolina biodiesel, pesticidas, fertilizantes, plásticos, detergentes, y muchos otros artículos de uso cotidiano.
1938	Expropiación petrolera en México.
1950	Población mundial: 2 518 630 000.
1952	Gran esmog de Londres (relacionado con la quema de carbón).
1956	Se inaugura la primera central nuclear en Inglaterra.
1973	Primera crisis petrolera; inicio del programa Pro-Alcohol en Brasil.
1975	El científico Wallace S. Broecker habla por primera vez del calentamiento global.
1979	Segunda crisis petrolera; primer vehículo 100% etanol en Brasil: Fiat 147.
1986	Crash de los precios del petróleo (10 dólares por barril); poco interés por los biocombustibles; accidente en Chernóbil.
1990	El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) advierte que las temperaturas han aumentado en 0.3-0.6 oC durante el siglo XX y que las emisiones de la humanidad se suman a las emisiones naturales de gases de invernadero, provocando el calentamiento global.
1990-1991	Guerra del Golfo.
1994	NOM-086-ECOL-1994 en México para controlar el contenido de contaminantes, como aromáticos y azufre, entre otros, en gasolinas, diésel, gas natural, etcétera.
1995	El IPCC emite la primera declaración de que los humanos son responsables del cambio climático.
1997	Protocolo de Kyoto para reducir las emisiones de gases invernadero. No se aplica de igual manera en todos los países y no es ratificado por los Estados Unidos.
2000	Población mundial: 6 070 581 000.
2003-2011	Guerra en Irak.
2006	Noción de tercera Revolución Industrial, expresión usada en el parlamento europeo para hablar de las nuevas formas de comunicación (internet) y de energías renovables.

Cronología	Suceso o dato importante
2007	Ley de Independencia y Seguridad Energética de 2007, de los Estados Unidos.
2008	Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.
2007-2008	Crisis alimentaria mundial; aumento desmedido del precio del maíz en México.
2013	Reforma energética en México.
Diciembre de 2015	COP 21 en París. Se espera un acuerdo mundial para limitar el aumento de la temperatura global en menos de 2 °C. Un paso más hacia la transición energética.
Julio 2016	Pemex anuncia que venderá gasolina mezclada con etanol.

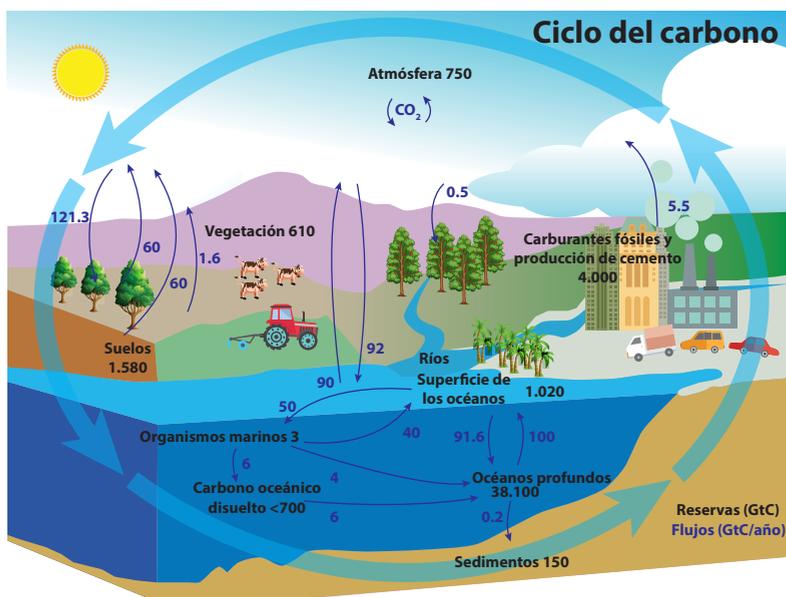
Biomasa

La biomasa, definida como una materia prima renovable para la producción de biocombustibles, es una forma de reserva de energía que tiene su origen en la fotosíntesis. Este proceso permite a las plantas sintetizar su propia materia orgánica a partir del CO₂ atmosférico y del agua del suelo. Durante la fase luminosa de la fotosíntesis, la energía solar es capturada por la clorofila en las hojas y transformada en energía química en los enlaces de la molécula de ATP (adenosín trifosfato). Posteriormente, durante la fase oscura de la fotosíntesis, el ATP es utilizado como fuente de energía por las células para fijar y convertir el CO₂ en glucosa y polímeros de reserva, como el almidón. La ecuación global de la fotosíntesis puede resumirse de la siguiente manera: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Así entonces, la energía solar y el CO₂ se encuentran almacenados en forma de energía química en moléculas a base de glucosa. La respiración es el proceso inverso de la fotosíntesis: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$. Una parte de la glucosa es degradada en presencia de oxígeno para liberar la energía necesaria para los procesos vitales de la planta. La otra parte es usada para formar nuevo material vegetal y diferentes partes de la planta. Finalmente, la descomposición de la biomasa vegetal genera CO₂ y agua en presencia de suficiente oxígeno, o bien metano y CO₂ en su ausencia. Los animales se alimentan de las plantas; las plantas crecen, mueren y se descomponen liberando finalmente sus componentes iniciales.

Fotosíntesis, respiración y descomposición, forman parte del ciclo natural del carbono en el cual este elemento circula entre sus diferentes reservorios (figura 3): la atmósfera; la biósfera, terrestre y acuática; la hidrósfera, océanos y aguas continentales y; la litósfera, sedimentos, rocas, yacimientos de combustibles fósiles. Durante cientos de miles de años, los ecosistemas fueron capaces de mantener un balance equilibrado entre la cantidad de CO₂ atmosférico absorbida y emitida, por fotosíntesis de la biósfera y su

respiración, respectivamente. La quema de combustibles fósiles, la intensificación de diversas actividades industriales y agrícolas y la deforestación, han perturbado el ciclo natural del carbono, desde principios del siglo XX, provocando la aparición de contaminación terrestre y acuática, junto con la acumulación excesiva de CO₂ atmosférico y otros gases promotores del cambio climático (figura 3).

FIGURA 3. MODELO DEL CICLO DEL CARBONO. LOS FLUJOS INDICADOS SE REFIEREN A LA CANTIDAD TOTAL DE CARBONO QUE FLUYE ENTRE LOS DIFERENTES RESERVORIOS DE CARBONO POR AÑO.

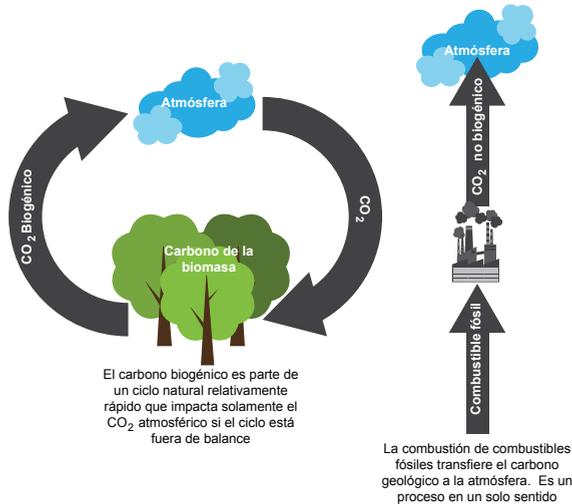


Fuente: Gardi *et al.* (2014).

Los animales se alimentan de las plantas. Las plantas crecen, mueren y se descomponen, liberando finalmente sus componentes iniciales. Las plantas son denominadas productores primarios al igual que las algas, que realizan la fotosíntesis en los ecosistemas acuáticos.

Sin intervención humana, los ecosistemas mantienen cierto equilibrio entre la emisión y la absorción del CO₂. Sin embargo, desde la segunda revolución industrial, a principios del siglo XX, la quema de combustibles fósiles, la intensificación de diversas actividades industriales y agrícolas y la deforestación, han perturbado el ciclo del carbono, provocando con ello la aparición de contaminación ambiental terrestre y acuática junto con la acumulación excesiva de CO₂ atmosférico y otros gases promotores del cambio climático.

FIGURA 4. FLUJO DE CARBONO EN LA UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA Y DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES



Fuente: Washington Forest Protection Association (2016).

La biomasa puede ser clasificada en función de sus características físicas (biomasa sólida, líquida o gaseosa), o bien de acuerdo a su origen o procedencia (natural, residual o producida). La biomasa de origen natural es aquella que se produce en los ecosistemas naturales, sin intervención humana. La explotación de este tipo de biomasa no es compatible con la conservación y protección de los ecosistemas, ya que la biomasa considerada renovable es sólo aquella cuya regeneración es igual o mayor a su consumo. Un ejemplo de esta situación es la utilización de la madera como fuente de energía, la cual es considerada como renovable cuando la explotación del recurso no conduce a una disminución del número de árboles en la biosfera.

Por su parte, la biomasa residual es aquella generada por la actividad humana. Se trata de residuos forestales (madera, hojas, podas), agrícolas (bagazos, cascara, paja) o industriales (madera, corteza, lignina), los cuales forman lo que se conoce como biomasa lignocelulósica. La biomasa proveniente de las aguas residuales (lodos depuradores), los desechos municipales sólidos ("basura", grasas) y los residuos animales (excrementos y otros desechos) es también considerada como biomasa residual.

La biomasa producida es aquella biomasa exclusivamente cultivada con fines energéticos. En esta categoría se incluyen especies vegetales con un alto contenido de aceites (palma aceitera, soja, girasol) para la fabricación del biodiésel y de azúcares (caña de azúcar, remolacha, maíz) para la ela-

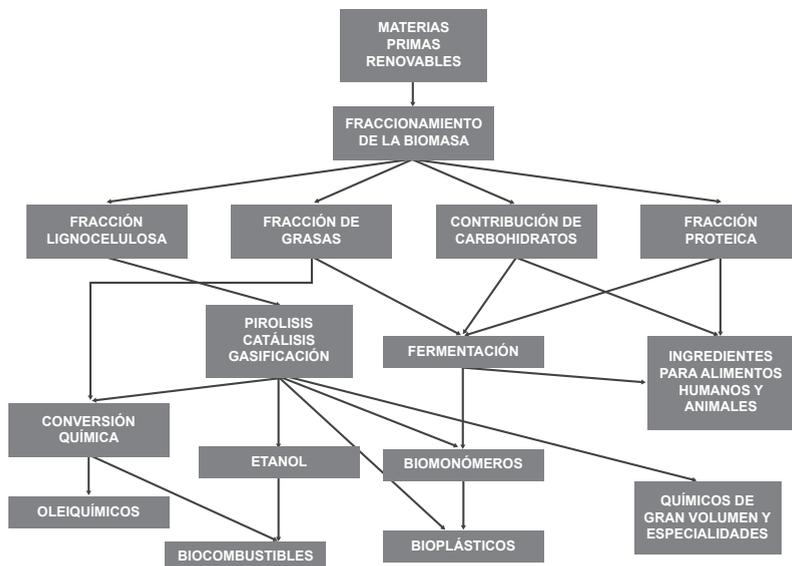
boración de bioetanol. Estas especies tienen principalmente un uso alimenticio, por lo que su utilización para la producción de biocombustibles puede impactar sobre la disponibilidad y el costo de los alimentos.

Otras especies vegetales de interés son los cultivos lignocelulósicos no alimenticios, cultivables en tierras poco fértiles para la producción de alimentos. Estos cultivos son caracterizados por un rápido crecimiento y una capacidad de rebrotes sucesivos, lo que les confiere una alta eficiencia en relación a la cantidad de biomasa producida por unidad de superficie y tiempo. Algunos ejemplos de estos cultivos son el pasto *Miscanthus* y el árbol de eucalipto. En esta categoría se encuentran también las macro y microalgas, capaces de almacenar grandes cantidades de aceites, o de producir hidrógeno bajo ciertas condiciones específicas de cultivo.

Biorefinerías

La biomasa puede ser considerada una fuente de energía del futuro así como una materia prima para muchos bienes y servicios que disfrutamos, los cuales hoy en día son, en su gran mayoría, derivados de la transformación del petróleo en combustibles o petroquímicos. Esta visión global de los beneficios de la biomasa y de los componentes que la integran, ha derivado en la consolidación del concepto de biorefinería.

FIGURA 5. INSUMOS, PROCESOS Y PRODUCTOS EN LAS BIORREFINERÍAS.



Fuente: Biernat y Grzelak (2015).

Las biorefinerías son estructuras que permitirían el aprovechamiento integral de la biomasa en una sola instalación (figura 5) para producir bioenergía (biocombustibles, calor, electricidad) y diversos bioproductos (productos químicos base o “building blocks”, alimentos, bioplásticos, fertilizantes) a través de diferentes procesos y bioprocesos (de Jong y Jungmeier, 2015). En general los bioprocesos, o procesos biotecnológicos, son conocidos por ser altamente selectivos además de ser capaces de generar pocos subproductos y operar bajo un amplio rango de condiciones. Como resultado, son normalmente menos intensivos en términos de energía y de emisión de contaminantes, características especialmente importantes en el contexto de una transición económica sostenible. El objetivo de las biorefinerías es optimizar el uso de la biomasa como materia prima renovable de la misma manera que se maximiza el uso del petróleo, una materia prima no renovable, en las refinerías y complejos petroquímicos, tomando en cuenta el respeto del medio ambiente.

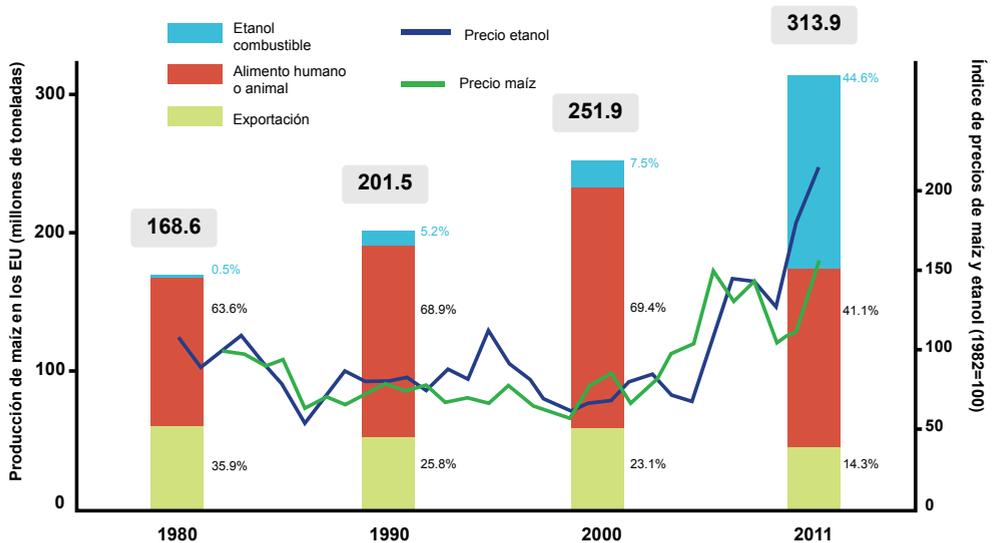
Tipos de biocombustibles y su obtención

Los biocombustibles son combustibles líquidos o gaseosos que se obtienen a partir de la transformación de la biomasa. Si bien el hidrógeno es considerado como el combustible ideal del futuro por ser abundante, limpio y renovable, aún no se ha resuelto cómo obtenerlo y almacenarlo de manera eficiente. Su producción y uso masivo requiere aún de esfuerzos científicos y tecnológicos considerables, por lo que se prevé que la producción y uso de los biocombustibles como el bioetanol, biodiésel y biogás seguirá siendo preponderante en el corto y mediano plazo.

Los biocombustibles pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de biomasa utilizada y a los avances tecnológicos necesarios para obtenerlos. Normalmente se distinguen los biocombustibles de primera, segunda y tercera generaciones.

Los biocombustibles de primera generación son obtenidos a partir de azúcar, almidón y aceites, de una porción específica, frecuentemente comestible, de plantas como caña de azúcar, trigo, maíz, palma aceitera y soya. La principal preocupación en torno a este tipo de biocombustibles es el hecho de destinar alimentos y superficies a la producción masiva de combustibles, lo que contribuye a la alza en los precios de los alimentos básicos; ejemplo de ello es la producción masiva y el alto costo del maíz en relación al bioetanol en los Estados Unidos (figura 6).

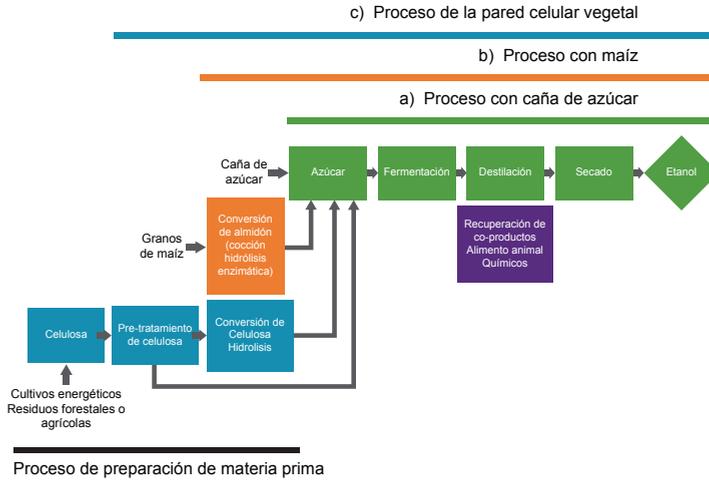
FIGURA 6. RELACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN Y PRECIOS DE MAÍZ Y BIOETANOL EN LOS ESTADOS UNIDOS



Fuente: HLPE (2013).

Ahora bien, el bioetanol de primera generación es producido a través de la biotransformación del azúcar de caña (azúcar común) en Brasil o del almidón de maíz en los Estados Unidos, utilizando como biocatalizador la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, misma que se usa en la fabricación de pan o de cerveza desde tiempos inmemoriales. Esta biotransformación, denominada fermentación, es un proceso bioquímico en el cual la sacarosa es primero hidrolizada por acción de la enzima invertasa o sacarasa de la levadura, para liberar azúcares simples, como la glucosa y la fructosa, los cuales son posteriormente fermentados en etanol (figura 7a). Por su parte el almidón, que es el polisacárido de reserva en vegetales, se encuentra en tubérculos (papa, yuca), semillas y granos (como el trigo y el maíz), y está formado por miles de moléculas de glucosa unidas entre sí, que deben ser hidrolizadas en azúcares simples (glucosa) por enzimas amilasas exógenas, es decir no presentes en la levadura, para poder llevar a cabo la fermentación, por lo que el proceso requiere de una etapa adicional respecto al proceso con sacarosa (figura 7b).

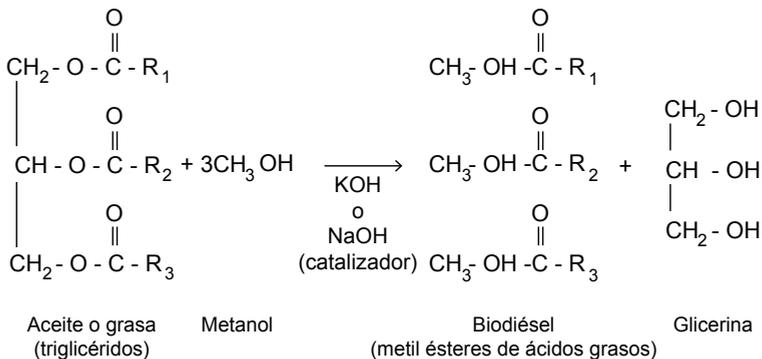
FIGURA 7. PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL: A) BIOETANOL DE PRIMERA GENERACIÓN, A PARTIR DE SACAROSA; B).A PARTIR DE MAÍZ; C). BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN, A PARTIR DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA.



Fuente: Cate (2016).

El biodiésel producido a partir de aceites vegetales extraídos de plantas oleaginosas es otro ejemplo de biocombustible de primera generación. Puede ser utilizado individualmente o mezclado con diésel tradicional. Su producción se basa en una reacción química entre aceites vegetales y alcohol, normalmente metanol, la cual transforma los aceites en ésteres metílicos o etílicos, constituyentes principales del biodiésel (figura 8). Esta reacción se denomina transesterificación. Los aceites vegetales no transesterificados son considerados como malos combustibles debido a su alta viscosidad.

FIGURA 8. REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN ENTRE GRASAS Y METANOL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL.



Fuente: Guo *et al.* (2015).

Los biocombustibles de segunda generación son producidos a partir de biomasa residual no alimenticia (biomasa lignocelulósica y otros desechos) y por lo tanto no compiten con la producción de alimentos. La producción de bioetanol de segunda generación a partir de biomasa lignocelulósica se presenta como un proceso más complejo que la fermentación directa de azúcar de caña o de almidones.

Para poder aprovechar los azúcares contenidos en la biomasa lignocelulósica se requieren tres etapas: 1) un pretratamiento fisicoquímico, involucrando generalmente altas temperaturas y presiones o la utilización de ácidos y bases para romper la pared de las células vegetales; 2) una hidrólisis enzimática, para liberar los azúcares fermentables a partir de la celulosa y la hemicelulosa, principales componentes de la pared vegetal; y 3) la fermentación de los azúcares a etanol (figura 7c).

En la actualidad, la mayor parte del etanol que se produce en el mundo es de primera generación, a partir de sacarosa y almidones. Sin embargo, en el 2014, entraron en funcionamiento las primeras cuatro plantas de bioetanol de segunda generación, dos de ellas en los Estados Unidos, una en Brasil y otra en Italia; la biomasa utilizada es diferente: en tres casos es rastrojo de maíz y en el otro es bagazo de caña. Posteriormente, en el 2015, se abrió otra planta, también localizada en los Estados Unidos (cuadro 3). Esto nos permite suponer que en los próximos años el etanol de segunda generación podría ser tan importante o más que el de primera generación, ya que una de las objeciones principales para su producción habrá desaparecido, pues no se utiliza biomasa alimentaria en su producción.

CUADRO 3. ESTADO ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN.

<i>Inicio de operación</i>	<i>Compañía</i>	<i>Localización</i>	<i>Biomasa y proceso</i>	<i>Capacidad (millones gal/año)</i>
2014	Beta-Renewables	Crescentino, Italia	Caña de Provenza (<i>Arundo donax</i>), pretratamiento Proesa®, fermentación con levadura recombinante.	13.4
	GranBio & Beta-Renewables	Alogoas, Brasil	Bagazo de caña de azúcar, pretratamiento Proesa®, fermentación con levadura recombinante	21.6

Inicio de operación	Compañía	Localización	Biomasa y proceso	Capacidad (millones gal/año)
2014	Poet-DSM Advanced Biofuels	Iowa, USA	Rastrojo de maíz, pretratamiento, fermentación con <i>Saccharomyces</i> recombinante.	20.0
	Abengoa	Kansas, USA	Rastrojo de maíz, pretratamiento, fermentación con <i>Saccharomyces</i> recombinante.	25.0
2015	Dupont Industrial BioSciences	Iowa, USA	Rastrojo de maíz, pretratamiento, fermentación con la bacteria <i>Zymomonas mobilis</i>	30.0

Fuente: Quintero (2016).

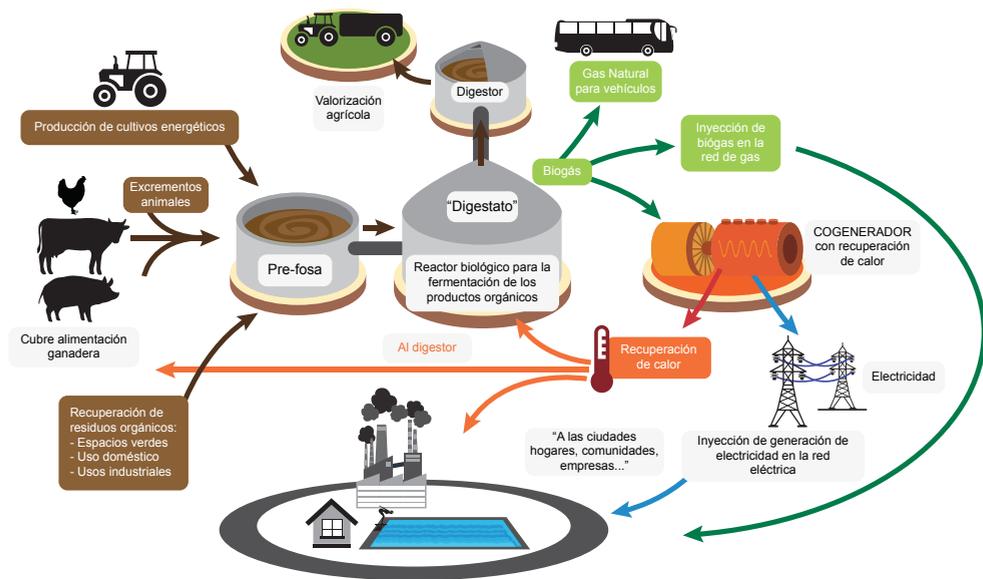
Otro ejemplo de biocombustible de segunda generación es el biogás. Cabe recordar que el gas natural está constituido en un 95% de metano mientras que biogás contiene un 60-65% de metano y un 30-35% de CO₂, así como pequeñas cantidades de agua, hidrógeno, ácido sulfhídrico, además de trazas de compuestos orgánicos volátiles. Este biocombustible se obtiene mediante un proceso microbiano llamado metanización o digestión anaerobia, en el cual la materia orgánica compleja es transformada en biogás. En forma paralela se genera también un residuo sólido que puede ser reutilizado, ya sea como fertilizante o como fuente de nutrientes para fines agroindustriales (Irstea, 2013).

La digestión anaerobia involucra diferentes tipos de bacterias en ausencia de oxígeno. Las bacterias hidrolíticas rompen los polímeros complejos en moléculas más sencillas: carbohidratos en azúcares simples; proteínas en aminoácidos; grasas en ácidos grasos. Las bacterias acidogénicas transforman estas moléculas simples en hidrógeno, CO₂ y ácidos orgánicos. Las bacterias acetogénicas producen acetato a partir de hidrógeno y CO₂ y, finalmente, las bacterias metanogénicas generan metano a partir de acetato, hidrógeno y CO₂.

Este proceso que forma parte del ciclo natural del carbono y ocurre naturalmente en los ecosistemas anaerobios, como en el rumen de los rumiantes y en sedimentos, es también aprovechado a gran escala para valorizar diversos tipos de desechos orgánicos o “sustratos” generados por la actividad humana, como basura orgánica, estiércol procedente de explotaciones ga-

naderas o de aves, lodos depuradores de agua. El biogás producido puede ser a su vez usado como fuente de energía para las municipalidades, granjas y plantas de tratamiento de agua (figura 9). El biogás es considerado como el único biocombustible de segunda generación producido desde hace varios decenios, principalmente en Alemania y países nórdicos en Europa.

FIGURA 9. PRODUCCIÓN Y VALORIZACIÓN DEL BIOGÁS.
EL "DIGESTATO" ES EL MATERIAL SÓLIDO PRODUCIDO TRAS LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LA MATERIA BIODEGRADABLE.



Fuente: ADEME Bretagne (2016).

Los gases producidos por la transformación de la biomasa (monóxido de carbono e hidrógeno), por vía termoquímica o gasificación, son también denominados biocombustibles de segunda generación. Estos gases son posteriormente convertidos en hidrocarburos con la ayuda de catalizadores químicos, bajo condiciones que requieren de altas presiones y temperaturas. Estos procesos son energéticamente costosos, al contrario que las biotecnologías, basadas en biocatalizadores y procesos bioquímicos y microbiológicos, como la fermentación o la metanización.

Finalmente, los biocombustibles de tercera generación son aquellos producidos a partir de cultivos energéticos (plantas) sometidos a modificaciones genéticas con el objetivo de incrementar la producción de biomasa y de facilitar su conversión a biocombustibles. En esta categoría se incluyen también las macroalgas, microalgas y algas verde azules ahora llamadas cianobacterias

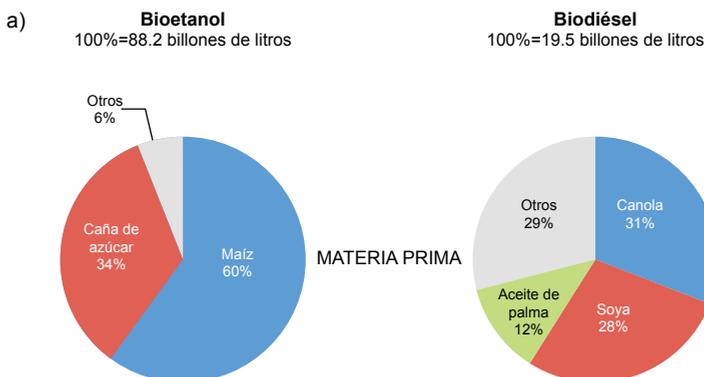
(biomasa acuática con actividad fotosintética). La biomasa algal puede llegar a contener hasta un 40% de lípidos utilizable para producir biodiésel, un 30% de proteínas para alimentos y un 20% de azúcares aprovechables para la producción de bioetanol por fermentación. Sin embargo, los procesos involucrados en la obtención del biodiésel de algas se encuentran aún en desarrollo para lograr mejores rendimientos de producción y extracción de sus aceites (Behera *et al.*, 2015). Las algas pueden ser también transformadas en biogás por metanización y algunas son productoras de hidrógeno (Trivedi *et al.*, 2015). Los biocombustibles de tercera generación se encuentran actualmente en fase de investigación.

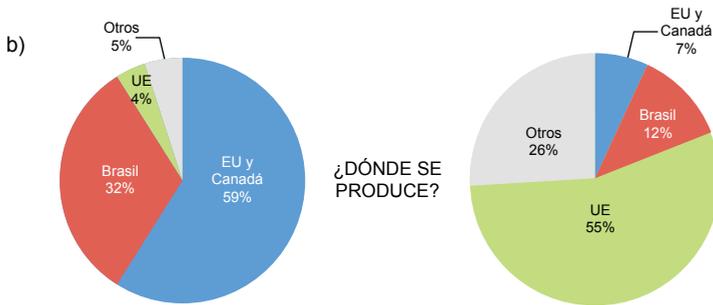
Situación actual de los biocombustibles

De acuerdo con un estudio prospectivo de la Agencia Internacional de la Energía, los biocombustibles podrían llegar a representar hasta un 27% del total de los combustibles de transportación en el año 2050 (International Energy Agency, 2011).

En la actualidad, Estados Unidos y Brasil son los mayores productores de bioetanol, para el que usan como materia prima el maíz y la caña de azúcar; mientras que para el biodiésel, es mayoritariamente producido en la Unión Europea, donde usan como materia prima la colza (figuras 10a y 10b). El bioetanol es el biocombustible de mayor producción mundial; su importancia reside en que puede ser usado para alimentar los motores a gasolina, más comunes en los automóviles. La Unión Europea es el líder mundial en la producción de biogás, y Alemania el mayor productor (Weiland, 2010).

FIGURA 10. MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL Y BIODIÉSEL (A), Y VOLÚMENES DE PRODUCCIÓN POR REGIÓN (B) EN EL MUNDO EN EL 2010.

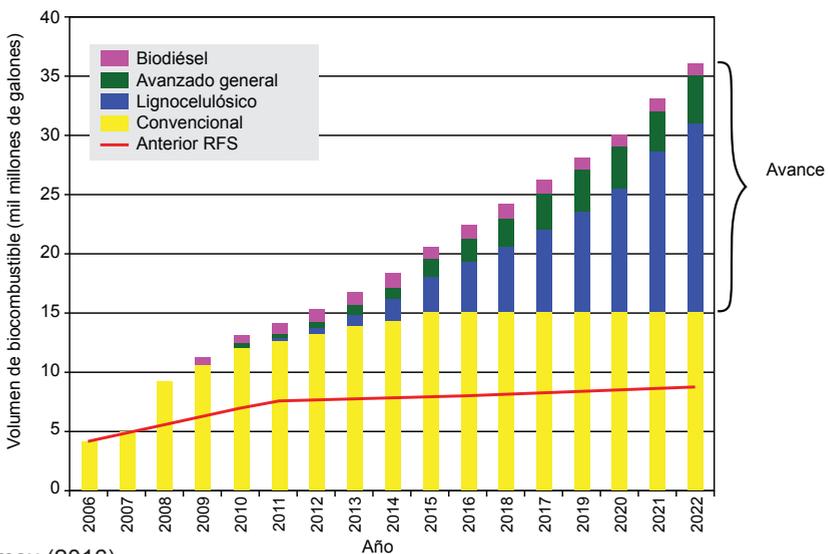




Fuente: The New Climate Economy (2014).

En el año 2007, el Acta de Seguridad e Independencia Energética de los Estados Unidos estableció una reducción del 20% en el consumo de gasolina en un plazo de 10 años (Twenty in ten) promoviendo a la par un aumento progresivo en la producción y uso del bioetanol. En este sentido Estados Unidos ha diseñado un programa estratégico de energía ambicioso y bien definido en cuanto a la producción e utilización de bioetanol y de biocombustibles en general. En la figura 11 se muestra la proyección de los biocombustibles hasta el año 2022 en los Estados Unidos. De acuerdo a estas previsiones, la producción de etanol a partir de almidón de maíz permanecerá en torno a los 15 billones de galones por año hasta el año 2022, cuando se estima que la producción de bioetanol de segunda generación alcanzará los 16 mil millones de galones; por su parte, el biodiésel permanecerá en una escala de producción mucho menor.

FIGURA 11



Fuente: Pemex (2016)

Brasil, el segundo productor mundial de bioetanol y mayor exportador de bioetanol en el mundo, ha establecido un programa nacional muy ambicioso para el año 2020, en el que estima que se alcanzará una producción de 190 billones de litros y que se exportará casi el 85% de este volumen. En el cuadro 4 se puede apreciar que para llevar a cabo este plan también habrá que prácticamente triplicar la superficie destinada a la siembra de la caña de azúcar (11 millones de hectáreas), la cual saldrá de la deforestación de la Amazonia con el consecuente deterioro ambiental no sólo de Brasil sino del mundo. Este punto, como ya se ha visto en capítulos anteriores, es de vital importancia, y cabe reflexionar si la mejor alternativa para los seres humanos del futuro es tirar árboles para producir combustibles.

CUADRO 4. PERSPECTIVAS DEL BIOETANOL EN BRASIL
HACIA EL AÑO 2020 (EN BILLONES DE LITROS).

<i>Indicador</i>	<i>Año</i>	
	<i>2006</i>	<i>2020</i>
Producción anual	17	190
Exportación	3	160
Consumo anual	14	30
Superficie (millones de hectáreas) dedicada a la caña de azúcar	6	17

Fuente: Quintero (2016).

En los Estados Unidos y Brasil los autos particulares han sido adaptados para funcionar con mezclas de gasolina y etanol en diferentes porcentajes (tecnología de los vehículos flex). Por ejemplo, el combustible denominado E10 es una mezcla que contiene un 10% de etanol y un 90% de gasolina, el E85 y el E100 contienen, respectivamente, 85 y 100% de etanol. En el caso de Brasil, el uso del bioetanol como combustible comenzó en 1973 como respuesta a la crisis petrolera de los países del Medio Oriente. Una de las primeras acciones consistió en la puesta en marcha del programa Pró-Álcool, que promovía la producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar, aprovechando el bajo precio del azúcar y la tradición y experiencia de este país en la producción de esta materia prima. En la actualidad los automóviles en Brasil pueden funcionar completamente a base de etanol.

También en ciudades de Japón, India, Nueva Zelanda, Suecia, Dinamarca, Austria, Islas Canarias, etcétera, es posible encontrar otros ejemplos positivos del uso de biocombustibles, gracias a iniciativas públicas que han promovido su producción y uso sustentable. Estas experiencias se han cen-

trado en el uso del bioetanol como combustible de automóviles particulares; el biodiésel en vehículos gubernamentales, transporte público, maquinaria agrícola, o barcos ferries; mientras que el biogás ha sido principalmente utilizado para transporte público y generación de calor o electricidad (International Energy Agency 2009).

Situación actual de los biocombustibles en México

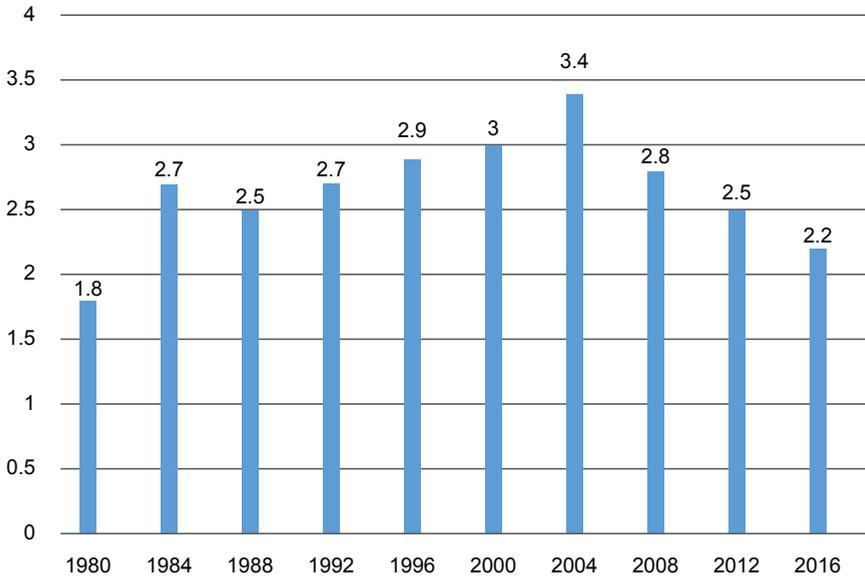
México, al igual que otros países del mundo, enfrenta grandes retos directamente ligados a un crecimiento poblacional constante, el agotamiento de las reservas de petróleo de buena calidad y fácilmente extraíble así como la contaminación ambiental y el cambio climático.

En nuestro país los biocombustibles (de acuerdo a la ley denominados “bioenergéticos”) han tenido un desarrollo irregular (hasta la fecha no se ha logrado la utilización de mezclas de etanol con gasolina). A partir de la publicación de la ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos en 2008 (cuadro 2), se han emitido tres iniciativas para producir etanol; en cada caso las cantidades previstas han sido diferentes, lo mismo que los sitios donde se pretende utilizar. En la iniciativa más reciente se intentaría obtener mezclas de 5.6 % de etanol con gasolina, pero no es seguro que suceda ya que, como en ocasiones anteriores, la presencia del monopolio de Pemex lo ha impedido. En particular, no se ha querido establecer un precio que sea rentable para los productores de etanol ni se ha podido identificar una materia prima disponible en cantidad suficiente y a precio adecuado para la producción.

Sin embargo la situación de la producción petrolera en el país ha cambiado significativamente en los últimos años y esto está obligando al Gobierno Federal a reconsiderar su política respecto de las energías renovables y especialmente la relacionada con los biocombustibles líquidos. Es posible citar numerosos datos y tendencias que indican que la producción el petróleo va a la baja en el país y que esta situación tendrá una gran repercusión en el desarrollo económico y social futuro. Los tres datos presentados a continuación ilustran esta situación:

1. La producción de petróleo crudo se ha desplomado desde el 2004. Esta tendencia decreciente en la producción se hace evidente al haber pasado de 3.4 millones de barriles diarios en ese año a sólo 2.2 en el 2016, lo que significa un decremento del 36% (figura 12). México ha pasado de ser un gran productor y exportador de crudo a un país que está en vías de convertirse en un importador neto, no sólo de petroquímicos derivados sino también de crudo.

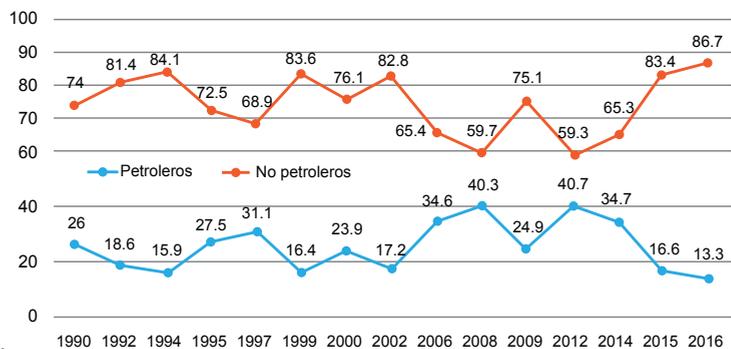
FIGURA 12. PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO EN MÉXICO
(MILLONES DE BARRILES DIARIOS).



Fuente: Pemex (2016).

- El ingreso por venta de petróleo al extranjero tuvo durante muchos años una importancia sustancial en el financiamiento del gasto público nacional. En la figura 13 se muestra como la contribución del petróleo en los ingresos ha variado desde 1990 hasta el 2016, sin embargo es en los últimos años cuando claramente se ha registrado un decremento importante, siendo sólo de 13.3 % en este último año. Durante muchos años se afirmó que la economía mexicana estaba petrolizada y que estos ingresos servirían para financiar la infraestructura que requería el país. En la actualidad todo parece indicar que esta situación está terminando y que será necesario buscar alternativas no sólo para sustituir al petróleo sino también para tener nuevas fuentes de ingresos.

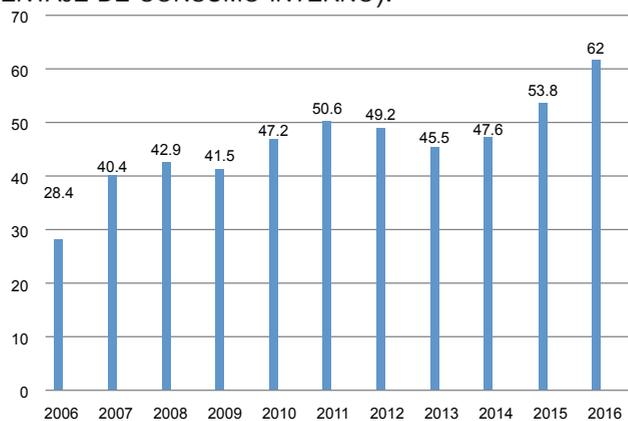
FIGURA 13. DESPETROLIZACIÓN FORZADA.



Fuente: SHCP (2016).

3. Otra situación que preocupa enormemente es la creciente importación de gasolinas (figura 14), a pesar de que el país cuenta con 6 refinерías, éstas no tienen la capacidad suficiente para cubrir la creciente demanda de gasolina. Así mismo se estima que cada año el parque vehicular se incrementa en 1.7 millones de autos nuevos, lo que trae como consecuencia un incremento en la demanda de gasolinas. Como ejemplo, en el 2015 se importó casi el 54% del consumo interno de gasolina, lo cual se tradujo en 24 787 millones de litros de gasolina y miles de millones de dólares destinados a su compra. No sólo se importan gasolinas sino que también diésel, turbosina y gas, todos ellos con tendencia al aumento en los últimos años. En algunos meses del 2016, la balanza económica petrolera ha sido negativa para el país, es decir se ha gastado más en la importación de productos derivados del petróleo que lo que ingresa por la venta del crudo.

FIGURA 14. IMPORTACIÓN DE GASOLINA EN MÉXICO (PORCENTAJE DE CONSUMO INTERNO).



Fuente: Pemex (2016).

Todo lo anterior apunta a que el país deberá producir etanol para utilizarlo mezclado con gasolina. Aun no es claro si se tratará de bioetanol de primera o segunda generación ni tampoco se ha decidido si será a partir de caña de azúcar o bien de sorgo. En el caso del biodiésel la situación es aún más incierta. A la fecha ha habido al menos cinco iniciativas para producir biodiésel a partir *Jatropha curcas* en diferentes estados del país, pero todas ellas han sido abandonadas debido a que no se alcanzan los rendimientos agrícolas esperados y que por lo tanto resulta económicamente inviable su producción. En círculos académicos existe la noción de que la producción de microalgas es una opción con gran potencial, pero que aún está en desarrollo y de la cual no se tiene una estimación certera de cuándo será probada a nivel piloto.

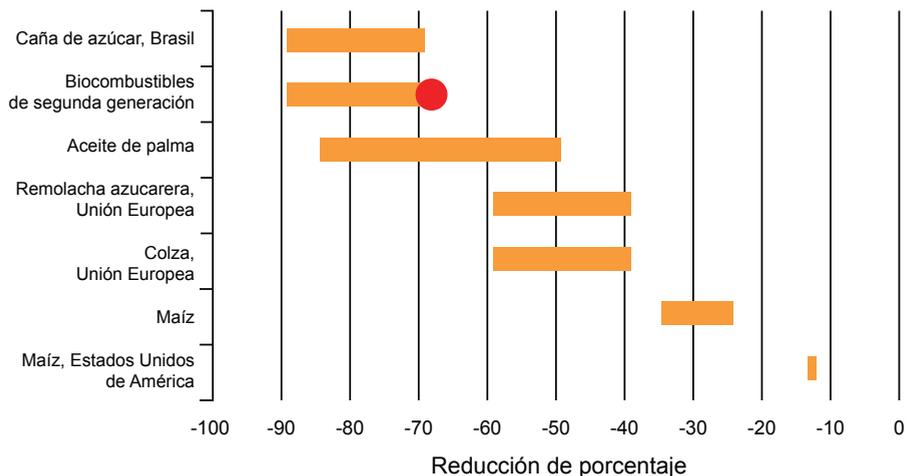
Aspectos ambientales y económicos de los biocombustibles

Anteriormente se ha señalado que el uso de los biocombustibles podría resultar en un balance de carbono neutral, debido a que la biomasa es obtenida por fotosíntesis y que es la misma fotosíntesis la que se encargaría de reciclar el CO_2 producido durante la combustión de los biocombustibles. Sin embargo, se desconoce aún el costo de la producción, almacenamiento y transporte de estos nuevos energéticos, en términos de ocupación de tierras, deforestación, consumo de agua y energía, utilización de pesticidas y competencia con alimentos, entre otros aspectos. En este sentido, es necesario profundizar el conocimiento del ciclo de vida de los biocombustibles. Los efectos derivados de la combustión de biocombustibles de transporte sobre la calidad del aire y el deterioro de la capa de ozono deben ser también considerados en una evaluación a mediano y largo plazos. Así mismo vale la pena recordar que generalmente el poder calorífico de los biocombustibles es menor a sus contrapartes fósiles, por lo que se requiere, en principio, de un mayor volumen para reemplazar un combustible de origen fósil.

La FAO publicó en 2008 un reporte muy interesante sobre los biocombustibles en la agricultura (figura 15), evaluando a nivel mundial las bondades y peligros asociados a esta opción. Uno de los aspectos considerados fue la emisión de GEI, encontrándose que en el caso de los biocombustible líquidos, etanol de primera y segunda generación, las emisiones son menores a aquellas originadas con el uso de la gasolina. En el caso del almidón de maíz los beneficios resultaron mucho menores que para el etanol de caña de azúcar, reforzando las serias dudas que existen en torno a los beneficios ambientales de la producción masiva de etanol de almidón para ser utilizado

como combustible en los autos, uno de los principales objetivos del plan energético de los Estados Unidos.

FIGURA 15.. REDUCCIÓN EN LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE ALGUNOS BIOCOMBUSTIBLES EN COMPARACIÓN CON LOS COMBUSTIBLES FÓSILES.



Fuente: FAO (2008).

El uso de biocombustibles como fuente de energía renovable puede, sin duda, contribuir a la reducción del consumo de combustibles fósiles, responsables de la generación de emisiones de gases efecto invernadero. Asimismo, los derrames de biocombustibles son menos contaminantes y tóxicos que los de los combustibles fósiles, además de que su biodegradabilidad es mayor. Por otro lado, los biocombustibles no contienen azufre ni nitrógeno, por lo que no contribuyen a la formación de lluvias ácidas, ni tampoco a la emisión de hidrocarburos aromáticos a la atmósfera.

Se prevé que las técnicas de producción de segunda generación permitirán el aprovechamiento de la biomasa residual (agrícola y forestal) para la producción local de biocombustibles, con lo que se abre un nuevo campo de desarrollo para la actividad agroindustrial. Las zonas desérticas podrían ser ocupadas por cultivos energéticos; además, la producción de los biocombustibles y otros productos en futuras biorrefinerías implica la utilización de procesos biotecnológicos, los cuales son claramente menos contaminantes que las clásicas tecnologías de refinación y petroquímica. Los biocombustibles presentan entonces limitaciones y ventajas potenciales que deberán ser valoradas a mediano y largo plazos.

Referencias

- ADEME Bretagne (2016), *La méthanisation agricole intégrée*. Recuperado el 10 de julio de 2016, de <http://www.bretagne.ademe.fr/domaines-d-intervention/energies-et-matieres-renouvelables/methanisation-biogaz>
- Behera, S., R. Singh, R. Arora, N. K. Sharma, M. Shukla y S. Kumar (2015), "Scope of algae as third generation biofuels", *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2, p. 90.
- Biernat, K. y P. L. Grzelak, (2015), "Biorefinery systems as an element of sustainable development", en K. Biernat (ed.), *Biofuels – Status and Perspective*, Luxemburgo, InTec, pp. 427-458.
- Cate, J. H. D. (2016), "Alternative energy: Increased options for biofuel production using yeast", *Journal of the Homeland Defense & Security Information Analysis Center*, 2(4), pp. 14-17.
- De Jong, E. y G. Jungmeier (2015), Biorefinery concepts in comparison to petrochemical refineries, en A. Pandey, R. Hofer, C. Larroche, M. Taherzadeh y M. Nampoothiri (eds.), *Industrial biorefineries and white biotechnology*, Amsterdam, Elsevier, pp. 3-33.
- FAO (2008), *El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación*, Roma, FAO.
- Gardi, C., M. Angelini, S. Barceló, J. Comerma, C. Cruz Gaistardo, A. Encina Rojas, A. Jones, P. Krasilnikov, M. L. Mendonça Santos Brefin, L. Montanarella, O. Muñiz Ugarte, P. Schad, M. I. Vara Rodríguez y R. Vargas (2014), *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*, Luxemburgo, Comisión Europea/ Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Guo, M., W. Song y J. Buhain (2015), "Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, febrero, pp. 712-725.
- HLPE (2013), *Biofuels and food security. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security*, Roma, FAO.
- Instituto Mexicano del Petróleo (2014), *Acerca del petróleo*. Recuperado el 12 de junio de 2016, de <http://www.imp.mx/petroleo/>

International Energy Agency (2009), *Cities, towns and renewable energy: Yes in my front yard*, París, OECD/ IEA.

----- (2011), *Technology Roadmap Biofuels for Transport*, París, OECD/ IEA.

----- (2015), *Key world energy statistics*, París, OECD/ IEA.

Irstea (2013) Quelle énergie durable pour demain? Recuperado el 22 de agosto de 2016, <http://www.irstea.fr/toutes-les-actualites/actualites-de-linstitut/quelle-energie-durable-pour-demain>.

Jiménez Herrero, L.M. (2011) Transporte y movilidad, claves para la sostenibilidad. Recuperado el 20 de agosto de 2016, de http://www.fgcsic.es/lychnos/es_ES/articulos/transporte_movilidad_claves_para_la_sostenibilidad.

Lee, S., y Y. T. Shah (2013), *Biofuels and bioenergy: Processes and technologies*, Nueva York, CRC Press/ Taylor & Francis Group.

OPEC (2015), *2015 World oil outlook*, Viena, OPEC.

Pemex (2016), *Petróleos Mexicanos*, México, 1 de agosto.

Pozzi, S. (2016) La demanda mundial de carburantes alcanzará su máximo en 2035. Recuperado el 20 de agosto de 2016, de http://economia.elpais.com/economia/2016/02/28/actualidad/1456692137_914451.html

Quintero, R. (2016), *¿Qué espera la sociedad de un biotecnólogo?* Recuperado el 15 de agosto de 2016, de [videos.cua.uam.mx/Play/852](https://www.youtube.com/watch?v=852)

SHCP (2016), Secretaría de Hacienda y Crédito Público, México, 8 de agosto.

Swedish Gas Technology Center (2012), *Basic data on biogas*, Malmö, Suiza, Swedish Gas Technology Center.

The New Climate Economy (2014), *Land use*. Recuperado el 27 de junio de 2016, de <http://newclimateeconomy.report/2014/land-use/>

Trivedi, J., M. Aila, D. P. Bangwal, S. Kaul y M. O. Garg (2015), "Algae based biorefinery – How to make sense?", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, pp. 295-307.

Washington Forest Protection Association (2016), *Biomass: A key source of renewable energy*. Recuperado el 12 de junio de 2016, de <http://www.wfpa.org/forest-products/biomass/>

Weiland, P. (2010), "Biogas production: Current state and perspectives", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, pp. 849-860.

¿Pueden contribuir las plantas transgénicas al desarrollo sustentable?

*Rosa Luz González Aguirre
Rodolfo Quintero y Ramírez*

Introducción

Desde los inicios del hombre la alimentación ha sido una preocupación constante, es por ello que hace aproximadamente 10 000 a 12 000 años dio principio la práctica y desarrollo de la agricultura. A partir de ese entonces a la fecha han habido notables avances en este tema: se domesticaron especies que con el tiempo se convirtieron en cultivos fundamentales para la vida y desarrollo de las comunidades, como el maíz, el arroz, el trigo, el frijol, etc., y de hecho, alrededor de cada uno de ellos se generaron culturas, mitos y productos derivados que permitieron a su vez progresar en términos de bienestar y satisfacción de las necesidades básicas.

En los años setenta, principalmente en Estados Unidos, los avances en la investigación básica acerca de la manipulación genética de bacterias dio origen a lo que entonces se llamó Ingeniería Genética, y en 1981 se produjo comercialmente por primera vez en el mundo una proteína recombinante, la insulina humana, por medio de la bacteria *Escherichia coli*; ésta logró un impacto no sólo en el campo de la medicina sino en otras áreas del conocimiento, entre ellas el estudio y modificación genética de plantas. En 1983 tres grupos científicos publicaron artículos que dieron origen a lo que hoy conocemos como plantas transgénicas, que en realidad son el resultado de la modificación genética de células vegetales que posteriormente se convirtieron en plantas completas. Estos tres grupos trabajaban en cinco laboratorios diferentes, cuatro de ellos pertenecientes a instituciones académicas, pero el quinto lo hacía para la empresa Monsanto, que como veremos ha tenido gran impacto, positivo y negativo, en el desarrollo e impulso de esta nueva tecnología en diferentes partes del mundo, algunas veces por haberla aceptado con tanta facilidad y otras veces por aparentemente hacer aportaciones muy beneficiosas, mientras en otras regiones y países, México entre ellos,

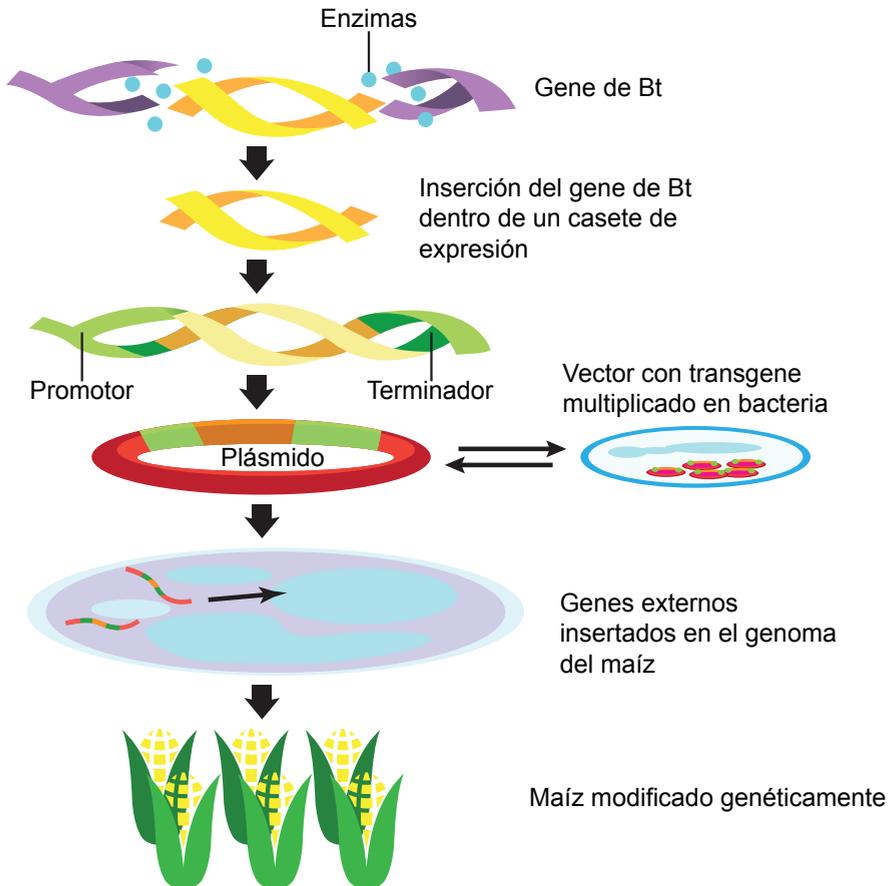
su presencia y enfoque han sido rechazados o al menos ampliamente cuestionados. En este capítulo haremos la revisión y análisis de cuatro aspectos de las plantas transgénicas y su relación con la sustentabilidad:

- el surgimiento de las plantas transgénicas hasta nuestros días;
- la contribución de las plantas transgénicas al desarrollo sustentable;
- la situación de las plantas transgénicas en México, y
- reflexiones sobre el futuro de las plantas transgénicas en el mundo.

El surgimiento de las plantas transgénicas hasta nuestros días

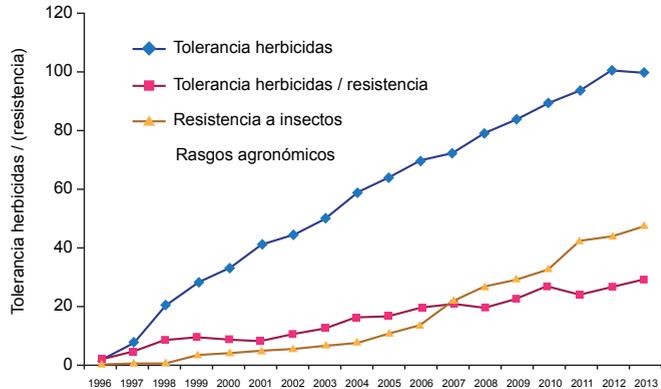
En los años ochenta grupos académicos desarrollaron la metodología necesaria para la adición/ supresión de genes específicos en plantas, al darle a éstas nuevos rasgos de importancia agronómica, como es la resistencia a algunas enfermedades y a algunas plagas, lo que dio por resultado una disminución en el uso de pesticidas químicos y a la vez contribuyó a un desarrollo más sustentable de la agricultura. Estos grupos se encuentran en países industrializados, como Estados Unidos, Alemania, Inglaterra y Bélgica; pero no fue sino hasta 1994 cuando en Estados Unidos la empresa Calgene introdujo al mercado los tomates con madurez retardada, y hacia finales de 1995 se habían otorgado permisos para que fueran explotados comercialmente nueve cultivos: soya, maíz, algodón, canola, calabaza, clavel, tabaco, papa y papaya (James, 1995). Para 1998 había ya 56 productos transgénicos basados en nueve cultivos aprobados para su comercialización en al menos un país; sus rasgos transgénicos principales eran la resistencia a los herbicidas: el glufosinato, el bromoxinil, la sulfonilurea y el glifosato; resistencia a virus; resistencia a insectos lepidópteros o coleópteros por adición de genes de *Bacillus thuringiensis* (Bt), y modificación en la calidad de la semilla (modificación en aceites). En la figura 1 se presenta un esquema que muestra cómo se obtuvo el maíz transgénico resistente a insectos. Desde los años sesenta se sabía que la bacteria Bt producía una proteína que cuando era ingerida por larvas de los insectos plaga de ese cultivo (lepidópteros), éstos morían; ello se debe a que en el tracto digestivo de la larva se procesa una proteína que encuentra receptores en el intestino, en los que se ancla y produce poros en la pared de las células intestinales, hasta ocasionar la muerte (Bravo y Quintero, 1993). La idea original consistió en aislar el gen del Bt y posteriormente insertarlo en el ADN del maíz mediante un plásmido; posteriormente las células modificadas genéticamente se cultivaban hasta obtener plantas de maíz que, ya modificadas, se conocen como maíz Bt, o sea resistente a insectos.

FIGURA 1. ESQUEMA QUE MUESTRA EL MÉTODO DE OBTENCIÓN DEL MAÍZ TRANSGÉNICO



Utilizando éste y otros métodos de biología molecular se obtuvieron plantas transgénicas con rasgos alterados y diferentes. En 2016 se cumplieron los primeros veinte años del cultivo y comercialización masivos de las plantas transgénicas en el mundo; en la figura 2 se muestra el área global que ha sido plantada con cultivos transgénicos. Además, debe señalarse que en 28 países se han cultivado y que 18 millones de campesinos las han adoptado. A partir del 2011 la superficie cultivada en países en vía de desarrollo superó a la de los países industrializados; como puede observarse también en la figura, la particularidad que más se ha utilizado en plantas transgénicas es la tolerancia a herbicidas, y le sigue otra característica que es la tolerancia a herbicidas junto con la resistencia a insectos. El total de superficie cultivada con plantas transgénicas en 2015 fue de 179.7 millones de hectáreas, y en el periodo comprendido de 1996 a 2015, de 937 millones de hectáreas. (James, 2015).

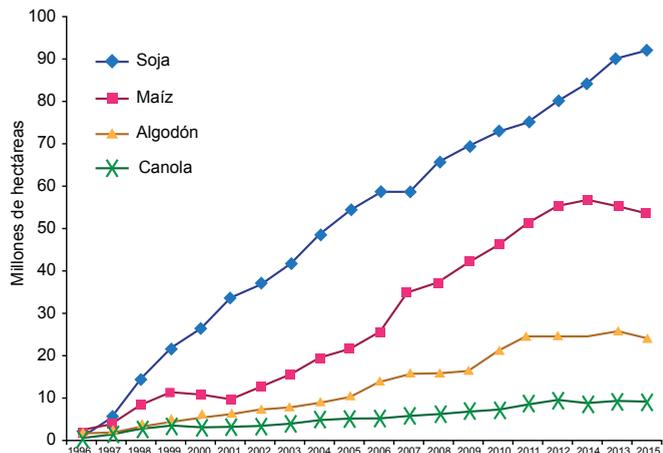
FIGURA 2. ÁREA GLOBAL Y CARACTERÍSTICAS DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS, 1996 Y 2015 (MILLONES DE HECTÁREAS)



Fuente: James 2015

En la figura 3 se presentan diferentes tipos de cultivos de transgénicos, de los que la soja es el que más se produce a escala mundial, prácticamente desde 1996, seguida del maíz, el algodón y la canola. De estos cuatro cultivos, sólo las hectáreas de soja transgénica aumentaron entre 2014 y 2015; los bajos precios fueron la principal razón para que se disminuyera la superficie plantada con transgénicos de maíz, algodón y canola. Estos datos muestran claramente que la soja representa 51% (92.1 millones de hectáreas) del área global de plantas transgénicas cultivadas en 2015. Con excepción de casi 13 millones de hectáreas donde se siembra soja tolerante a herbicidas y resistente a insectos, en cuatro países de América Latina (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay) sólo se cultiva soja resistente a herbicidas (79.2 millones de hectáreas). (James, 2015).

FIGURA 3. ÁREA GLOBAL DE TRANSGÉNICOS EN 1996 Y 2015, POR TIPO DE CULTIVO (MILLONES DE HECTÁREAS)



Fuente: James 2015

Otros cultivos transgénicos que han tenido una rápida tasa de adopción han sido la alfalfa, que se empezó a crecer en el 2006 y para el 2015 alcanzó casi el millón de hectáreas y en el 2016 ya se había empezado a sembrar alfalfa con lignina reducida. Pequeñas superficies (mil hectáreas) de plantas resistentes a los virus de calabaza, papaya y maíz dulce se cultivan en Estados Unidos. China también produce papaya transgénica, y un poco más de 500 hectáreas se han plantado con álamo Bt.

Desde el punto de vista económico, las plantas transgénicas también han tenido un fuerte impacto (cuadro 1), pues se tienen cultivos transgénicos en 28 países de los aproximadamente 220 que conforman la comunidad internacional, todos considerados grandes productores; entre ellos se incluyen Estados Unidos, Brasil, Argentina, India, Canadá, China, Paraguay, Pakistán y Sudáfrica; la excepción son Australia y México (James, 2015).

CUADRO 1. ÁREA GLOBAL DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS, DE 1996 A 2015

Año	Hectáreas (millones)	Valor (millones de dólares)
1996	1.7	93
1997	11.0	591
1998	27.8	1 560
1999	39.9	2 354
2000	44.2	2 429
2001	52.6	2 928
2002	58.7	3 470
2003	67.7	4 046
2004	81.0	5 090
2005	90.0	5 090
2006	102.0	5 714
2007	114.3	6 670
2008	125.0	7 773
2009	134.0	9 045
2010	148.0	10 607
2011	160.0	11 780
2012	170.3	13 251
2013	175.2	14 840
2014	181.5	15 610
2015	179.7	15 690
Total	1 964.6	148 808

En 2012 se estimó que el mercado global de la agricultura biotecnológica fue de 15.3 billones de dólares, y que para el 2019 será de 28.7 billones, lo que permite suponer que el mercado estará creciendo a una tasa anual de 9.5% . También se prevé que las plantas transgénicas que ofrezcan mayor rendimiento, resistencia a plagas, más larga vida de anaquel y mayor valor nutricional, serán las más ampliamente aceptadas tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo, particularmente la soya y el maíz, en virtud de que son la base de la dieta animal que se espera crezca conforme aumente la población y haya mayor demanda de carne. La soya será el cultivo transgénico que crecerá más rápido en los años próximos, lo mismo que el maíz por sus aplicaciones en la alimentación humana y animal así como en usos industriales: elaboración de bioplásticos y biocombustibles (James, 2015).

La contribución de las plantas transgénicas al desarrollo sustentable

En los ámbitos nacional e internacional existen fuertes controversias tanto entre especialistas, funcionarios de gobierno, empresarios, como entre la sociedad en general, respecto a si el uso de plantas transgénicas contribuye a la sustentabilidad. El desarrollo sustentable es un principio que está presente en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y en el Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la biotecnología (PC); ambos son tratados internacionales, jurídicamente vinculantes.

Al CDB se le considera el principal instrumento internacional para el desarrollo sustentable, pues en su artículo 19 están las bases para el establecimiento del Protocolo de Cartagena, que es un acuerdo complementario al CDB que busca proteger a la diversidad biológica de los riesgos potenciales de los organismos vivos modificados que se derivan de la biotecnología moderna (OVM), entre los cuales están las plantas transgénicas.

El Protocolo de Cartagena entró en vigor en 2003; su objetivo es “contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en cuanto a la transferencia, manipulación y utilización seguras de los organismos vivos modificados, resultantes de la biotecnología moderna, que puedan tener efectos adversos para la conservación y utilización sostenibles de la diversidad biológica” (PC, 2000); este protocolo adopta un enfoque precautorio, y tiene en cuenta también los riesgos para la salud humana en tanto se enfoca en los movimientos transfronterizos de los OVM, de tal suerte que el país en cuestión puede negar la importación de dichos organismos si se considera que no

existe suficiente evidencia científica que avale la seguridad del producto. Permite también a los países o grupos incluir consideraciones de tipo socioeconómico en el proceso de evaluación.

La entrada en vigor del Protocolo de Cartagena en 2003 presionó a los países para que tuvieran un marco regulatorio en bioseguridad, lo que abrió un espacio para la formulación de distintas propuestas, dependiendo del país o grupo, sobre el uso seguro de los organismos genéticamente modificados,¹ ya sea normas, leyes, reglamentos, etc., mismas que complementaron y reforzaron lo que cada país había implantado antes del PC; México fue de los primeros países en firmarlo.

Cabe destacar que Estados Unidos y Canadá, dos de los socios comerciales de México no son parte del protocolo, lo que no obsta para que ambos tengan marcos regulatorios basados en legislaciones existentes y hayan construido capacidades en materia de bioseguridad, adaptando y refinando los métodos y procesos de operación de dependencias con las que ya contaban y/o generando los necesarios a fin de que las empresas y grupos de investigación que desarrollan y comercializan OVM puedan proteger a la sociedad y al ambiente de los posibles riesgos y operar en ambientes regulatorios que den certeza a sus actividades.

Los enfoques regulatorios de los diferentes países o grupos para las plantas transgénicas varían, dependiendo del grado de participación de los actores² sociales y económicos en procesos de toma de decisiones, de cómo sus ciudadanos perciben el riesgo, de aspectos culturales, de las capacidades necesarias para implantar las regulaciones, etcétera.

Un aspecto a destacar es el alcance de las regulaciones: algunos países deciden el estatus regulatorio de cada producto con base en el proceso utilizado para desarrollarlo; es decir que la regulación se aplica a un cultivo mejorado por técnicas de ingeniería genética, en tanto otros se enfocan a los riesgos asociados a los productos finales y no a los procesos por los cuales fueron desarrollados (NASEM, 2016). Lo anterior es importante a la luz de la evolución y rápido de las herramientas de ingeniería genética.

1. Al uso seguro de los organismos genéticamente modificados u organismos vivos modificados se le conoce como bioseguridad

2. Se refiere a individuos o entidades colectivas (por ejemplo dependencias gubernamentales, empresas, minorías, organizaciones no gubernamentales y ciudadanos), cuando su comportamiento es intencional e interactivo (NASEM, 2016: 384).

Los aspectos regulatorios en algunos países o grupos también difieren respecto a cómo se distribuyen las responsabilidades entre dependencias en cuanto a evaluación y manejo del riesgo (NASEM, 2016). Las regulaciones son de gran importancia para cualquier tecnología, pues influyen en su ciclo de vida. Algunos procesos regulatorios son rápidos y otros adoptan principios precautorios que generalmente vuelven más lenta la adopción de las innovaciones; por ejemplo, Estados Unidos tiene un enfoque que privilegia más al mercado, mientras que el de la Unión Europea es más precautorio³ y pone mayor énfasis en el bienestar de la sociedad.

A continuación se revisa el papel que han tenido las plantas transgénicas en la sustentabilidad de la agricultura a escala internacional, y se destacan algunas recomendaciones respecto a las características de las innovaciones y los aspectos regulatorios.

Las plantas transgénicas y la sustentabilidad agrícola

Las plantas transgénicas utilizadas comercialmente desde hace más de veinte años en el ámbito internacional se circunscriben principalmente a la soya, el maíz y el algodón,⁴ y poseen características orientadas principalmente a facilitar la práctica agrícola, tales como resistencia al ataque de insectos (cultivos Bt), tolerancia a herbicidas, o ambas combinadas,⁵ siendo la tolerancia a herbicidas la dominante (James, 2015: 211); muy pocos cultivos fueron comercializados para resistir virus o el estrés ambiental. En menor medida también han sido sembradas en el plano comercial plantas modificadas genéticamente, con características orientadas a facilitar procesos industriales,⁶ de ahí que en este apartado se revisen algunas controversias respecto a la contribución de las plantas transgénicas en la agricultura y sus efectos para que esta actividad sea más sustentable en los planos socioeconómico y ambiental, y dado que los cultivos mencionados se destinan en gran medida a la alimentación humana y animal, se incluyen también algunos efectos en la salud de consumidores y trabajadores agrícolas.

³ Se trata de un enfoque para formular políticas que eviten riesgos futuros a la salud y al ambiente (NASEM, 2016: 309).

⁴ En 2014 y 2015 estos tres cultivos representaron más de 91% del área total cultivada en el mundo con plantas transgénicas (James, 2015: 208).

⁵ Estos tres rasgos representan más de 99% del área total (James, 2015: 212).

⁶ Syngenta desarrolló una variedad de maíz que expresa la enzima alfa-amilasa en el grano y convierte el almidón de maíz en azúcares fermentables para la producción de etanol.

Se han realizado asimismo diferentes evaluaciones que destacan efectos considerables en el rendimiento de las plantas transgénicas;⁷ sin embargo, es importante subrayar que en el caso de Estados Unidos que es el mayor productor de estos cultivos, otros estudios⁸ señalan que no se observan incrementos significativos en los rendimientos que sean claramente atribuibles a las plantas transgénicas (NASEM, 2016: 66). Al respecto, hay que destacar que las características que fueron modificadas (resistencia a insectos, tolerancia a herbicidas, o ambos), aunque pueden contribuir a mejorar el rendimiento de manera indirecta, no fueron diseñadas para ese propósito.

De acuerdo con James, la resistencia a insectos ha sido efectiva para disminuir 37% el uso de insecticidas químicos en los últimos 20 años (2015: vi). Otros estudios señalan que, en algunos casos, el uso de variedades Bt puede asociarse a reducciones en el uso de insecticidas en campos aledaños sembrados con variedades no Bt del mismo cultivo o de otros (NASEM, 2016:78); lo que mostraría una contribución importante de variedades Bt a la sustentabilidad ambiental y económica.

Sin embargo, hay evidencias de que la resistencia de algunos insectos a las toxinas Cry está evolucionando. La evolución de la resistencia se encuentra asociada a la utilización de variedades de plantas sin una dosis alta de la toxina Bt, o a la ausencia de refugios⁹ (NASEM, 2016:100); esto último depende del uso.

Algunos aspectos importantes que se derivan del papel que han tenido las plantas transgénicas en la agricultura guardan relación con la importante influencia del contexto de aplicación social y ecológico y las diferencias en el manejo de las innovaciones (Bonny, 2011: 1304). En efecto, un cultivo transformado para resistir el ataque de insectos, que haya sido manejado sin seguir las recomendaciones establecidas,¹⁰ podría contribuir a la rápida

7. 22% a escala global, según James (2015: vi).

8. NASEM es una fuente transparente creíble; es una revisión reciente realizada por las Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina de los Estados Unidos sobre cultivos genéticamente diseñados.

9. Los refugios forman parte de estrategias para manejar la aparición de insectos resistentes; el establecimiento de refugios consiste en destinar un área pequeña dentro del cultivo Bt y plantarlo con plantas No-Bt, ahí se mantiene una población de insectos susceptibles que pueden aparearse con los insectos resistentes que hayan sobrevivido en el área cultivada con el cultivo Bt. Si la resistencia es un carácter recesivo, no se expresa en la progenie y se retrasa su aparición.

10. No poner refugios o usar variedades sin una alta dosis de la toxina Bt (NASEM, 2016: 100).

aparición de insectos resistentes y volver poco sustentable su contribución a la agricultura.

En los primeros veinte años de plantas transgénicas la resistencia al herbicida glifosato ha sido la propiedad más aprovechada por los productores agrícolas. De los 179.7 millones de ha cultivadas a escala global en 2015, 53% fueron plantas tolerantes a herbicidas y 33% de rasgos conjuntos de resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas; es decir, 86% del total de cultivos transgénicos en el mundo requirió de la aplicación de herbicidas (James, 2015: 212). Algunos autores consideran que este tipo de particularidades tiene poco o ningún valor para la sociedad en general, ya que beneficia principalmente a las empresas que comercializan la semilla y el herbicida asociado (Bonny, 2011: 1303), que antes no podía utilizarse en esas plantas.

Sin embargo en algunos países como Argentina y Canadá la introducción de soya y canola (respectivamente) tolerantes a herbicidas ha contribuido de manera importante al incremento de labranza mínima,¹¹ una práctica agrícola con repercusiones favorables al ambiente (NASEM, 2016: 98).

Algunas repercusiones negativas para la salud de los trabajadores agrícolas en Argentina, por su parte, han sido reportadas por el incremento en el uso de glifosato, así como por efectos negativos en la ecología (Antoniou et al., 2010); estos efectos dependen mucho del tipo de manejo que se realice en contextos particulares. Es importante destacar que en una revisión reciente acerca de datos epidemiológicos en incidencia de cáncer y otros problemas de salud humana a lo largo del tiempo, no se encontró evidencia que pruebe que los alimentos de cultivos genéticamente modificados sean menos seguros que los provenientes de cultivos sin modificar (NASEM, 2016: xvii).

De igual suerte, en el caso de plantas resistentes a herbicidas la resistencia de algunas malezas ha evolucionado por el sobreuso de un herbicida simple: el glifosato. Un sistema regulatorio participativo, transparente y flexible que incluya el monitoreo y evaluación de los efectos que está presentando un cultivo transgénico en el ambiente y en la sociedad permitirá generar medidas correctivas, o en su caso suspenderlo o prohibirlo, y será una diferencia importante para lograr un desarrollo sustentable (NASEM, 2016:100 y 173).

Finalmente, aunque algunos actores sociales piensan que la ingeniería genética de plantas por sus considerables beneficios potenciales es parte de un futuro inevitable, es importante proceder con precaución para evitar causar daños a la salud humana, al ambiente y a la sociedad en general (Azadi *et al.*, 2015).

¹¹. Una práctica de labranza de conservación en la que la mayoría de la superficie del suelo queda intacta (Antoniou *et al.*, 2010: 25).

La situación de las plantas transgénicas en México

Desde 1988 las autoridades mexicanas se vieron en la necesidad de tomar medidas de bioseguridad a raíz de la primera solicitud de liberación en campo de una planta transgénica; aunque en aquel entonces no existían leyes, reglamentos ni normas para la liberación en campo a escalas experimental, piloto o comercial de dichas plantas, sino sólo procedimientos, experiencia y participación de académicos en dichos procesos, tampoco había una percepción negativa acerca de posibles riesgos a la salud, al ambiente o a la práctica agrícola por la utilización de plantas transgénicas, ni participación alguna de la sociedad civil (González, 2004).

La primera planta transgénica que se comercializó fue la de tomate con madurez retardada, para consumo en fresco, de la empresa Calgene, en Estados Unidos, la cual fue autorizada por la Secretaría de Salud a principios de 1995, y pocas semanas después se autorizó su liberación en campo a escala comercial. Al poco tiempo este tipo de tomate fue retirado de los mercados internacional y nacional, por la escasa aceptación de los consumidores norteamericanos, mercado al cual estaba destinado.

Algodón transgénico. Poco antes de que se aprobara la norma para la liberación en campo de plantas transgénicas a escala experimental (NOM-056-FITO-95), se autorizó un programa piloto de liberación del algodón resistente al ataque de insectos en Tamaulipas. Por sus características, este producto requirió de medidas adicionales de bioseguridad a las establecidas para su liberación experimental, dirigidas a preservar su valor de uso, tales como las estrategias de refugios destinadas a retardar la aparición de insectos resistentes a la toxina insecticida que produce la planta, que son muy importantes para la sustentabilidad ambiental (González, 2004).

En el caso del algodón transgénico tampoco se cuestionó el manejo que se le estaba dando; de hecho en los foros en donde se presentaban los resultados de su cultivo era notoria la buena implantación que las autoridades sanitarias regionales le estaban dando a los programas de manejo de resistencias (González, 2004).

Desde 1996 se ha plantado en México algodón transgénico a escalas piloto y luego comercial (aun cuando oficialmente se les denomine a ambas piloto). Las características del algodón también han cambiado: inicialmente se sembró algodón resistente al ataque de insectos, y desde 1999 se inició la siembra de algodón con rasgos acumulados de resistencia a insectos y tolerancia al herbicida. La sustitución del algodón convencional por el transgénico se incrementó de 0.3% en 1996 a 96% en 2015, y actualmente casi en

su totalidad es algodón con los rasgos conjuntos de resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas (James, 2015).

El algodón transgénico es hasta el momento el mayor éxito de la biotecnología agrícola en México; el principal impacto por usar la tecnología de resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas en el país fue el incremento en rendimientos de 7 y 14% entre 2008 y 2013, y ahorros en el costo de producción por la disminución de insecticidas. En general el incremento neto anual en rentabilidad por unidad de producción osciló entre 354 dólares americanos/ha en 1996, y 199.5 dólares en 2013 (Brookes y Barfoot, 2015: 66-67).

El algodón se ha cultivado comercialmente en estados del noroeste, norte y noreste de México, en regiones con capacidades económicas y técnicas no muy diferentes a las de los países para los cuales fueron desarrollados. En ese sentido, generar productos biotecnológicos que respondan a las necesidades de los productores de menos recursos, y transformar sus necesidades potenciales en demandas reales, constituye una tarea mucho más compleja.

Las decisiones de comercializar tanto el tomate de madurez retardada como el algodón resistente al ataque de insectos en el país, se tomaron en una época en que el marco regulatorio en aspectos de bioseguridad, como se señaló, no tenía aún una norma oficial, ni siquiera a escala experimental. Posteriormente en el país se tomó la decisión de regular los organismos genéticamente modificados, incluyendo plantas transgénicas, mediante un instrumento jurídico: la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM); esta ley fue resultado de un largo proceso legislativo y entró en vigor en 2005. A partir de entonces se inició el reforzamiento y creación de instituciones y organismos, diversos para la coordinación de las políticas de la Administración Pública Federal relativas a bioseguridad de organismos genéticamente modificados; asimismo, se conformó la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (Cibiogem), en un principio por decreto presidencial y después como parte de la LBOGM.

El algodón transgénico, sin embargo, no ha despertado mayores preocupaciones en la sociedad civil a pesar de que México es centro de origen y diversidad de este cultivo. Wegier et al. han reportado flujo génico de variedades transgénicas a metapoblaciones de algodón silvestre (2011); además de esto, no hay estudios sobre la evolución de resistencia en insectos, ni de aparición de malezas tolerantes al herbicida. Al parecer, una vez liberado a escala comercial no existen mecanismos para su regulación y hay pocas investigaciones respecto a los posibles efectos ambientales a la biodiversidad y a la salud por el algodón transgénico.

El maíz transgénico. El maíz es la base de la alimentación de los mexicanos y su cultivo el más importante en términos de área cultivada, del número de productores involucrados y de la variedad de zonas en las que se siembra. Sus niveles de tecnificación son muy variados, así como el grado de preparación de los productores; además, México es centro de origen y diversidad de este cultivo, lo que le da un estatus especial en términos de bioseguridad y seguridad alimentaria en los ámbitos nacionales e internacional y, finalmente, en términos de sustentabilidad. De ahí que desde sus inicios las solicitudes de liberación al ambiente del maíz transgénico hayan sido abordadas con mucha responsabilidad por varios de los actores involucrados en dicho proceso, tanto académicos como de la esfera gubernamental, ya que al ser un cultivo de polinización abierta, las prácticas de favorecer el flujo de genes que siguen campesinos y pueblos originarios en sistemas tradicionales, aunadas a las de selección, resiembra e intercambio local de semilla, que son las que permiten crear y mantener la diversidad de este cultivo, podrían verse comprometidas por cuestiones de propiedad intelectual o detenidas por acciones de bioseguridad para controlar y detener el flujo de transgénicos (Bellon y Berthaud, 2004).

En 1998 se suspendió la experimentación con maíz transgénico que se había realizado de manera muy cuidadosa desde 1993 a fin de evitar contaminar el genoma nativo, y se estableció una moratoria de facto, a pesar de las presiones que se recibían en México por parte de los socios comerciales del recientemente firmado Tratado de Libre Comercio de América del Norte (González, 2004). En esa misma época dio inicio la participación social con la campaña de Greenpeace contra la siembra e importación de maíz transgénico. Asimismo, emergieron diferentes actores políticos que han participado en el debate sobre la liberación comercial del maíz transgénico desde distintos espacios, tanto de la política nacional, de la academia, como de la sociedad civil en aspectos legales formales y no formales en bioseguridad, y se conformó el movimiento anti-maíz-transgénico, que ha tenido la capacidad de enrolar a múltiples actores y recursos (Barajas y González, 2013).

Claramente se formaron dos frentes, uno a favor y otro en contra de la siembra de maíz transgénico; estos grupos se enfrentaron en aspectos legislativos y se fueron polarizando, generando aprendizajes para ambos en las distintas esferas del poder: a partir de la primera etapa los grupos opositores a la siembra de maíz transgénico fueron acumulando denuncias ante el poder ejecutivo para una participación abierta y organizada ante el legislativo y como consecuencia del vacío de responsabilidad institucional en bioseguridad; recientemente acudieron al judicial.

En efecto, ante la solicitud de varias empresas biotecnológicas para liberar el cultivo de maíz transgénico, un grupo de ONG (organizaciones no gubernamentales) y de personas interesadas interpusieron un recurso novedoso: un amparo mediante una acción colectiva. La acción judicial fue contra la decisión de las secretarías del medio ambiente y de agricultura por haber otorgado los permisos para la liberación de maíz transgénico, y contra las empresas que los recibieron. En octubre de 2013 un juez autorizó una medida precautoria que suspendió las siembras de maíz transgénico a escalas experimental, piloto o comercial, al tiempo que ordenó a las autoridades abstenerse de realizar cualquier trámite tendiente a su aprobación antes de haber decidido sobre las acusaciones presentadas (Chauvet, 2015).

Hasta junio de 2016 se ha mantenido la suspensión de la siembra de maíz transgénico a escala comercial, pues aún no ha concluido el juicio de acción colectiva. Cabe aclarar que las empresas pueden sembrar maíz transgénico a escalas piloto y experimental, y la sociedad civil puede monitorear estas acciones y exigir la revocación de los permisos si se presentan irregularidades (GreenPeace, 2016).

Esta breve historia del maíz transgénico en México muestra cómo el debate social en torno a su siembra se fue extendiendo gradualmente, y pasó de ser tema de discusión entre expertos en agronomía y biotecnología, así como de grupos interesados en su introducción, a incluir en la actualidad a grupos de expertos de muy diversas disciplinas, funcionarios gubernamentales, empresarios y diversas organizaciones de la sociedad civil, algunas de estas últimas que se oponen abiertamente a la siembra del maíz transgénico en México y han aprendido a organizarse y a movilizarse como se señaló, en diversas esferas del poder, al grado de lograr detener hasta el momento (junio de 2016) su cultivo comercial.

Soya transgénica. La soya no es originaria de México ni tampoco se tiene la diversidad genética de la especie o la presencia de parientes silvestres en territorio nacional. El cultivo de la soya transgénica en el país inició experimentalmente en 1999 y como plan piloto en 2010; el primer permiso para la siembra comercial de soya tolerante a herbicida fue otorgado en junio de 2012 para varios estados, incluidos los de la península de Yucatán, planicie huasteca y Chiapas, pese a la recomendación de la Comisión Nacional de Biodiversidad (Conabio) de no considerar viable su liberación. Una de las principales preocupaciones manifestadas por la Conabio era la inquietud, por parte de apicultores de la península de Yucatán, de la posible presencia de polen de soya transgénica en la miel producida de manera sustentable, lo que pondría en riesgo el mercado de exportación de miel a Europa, cosa que sucedió (Conabio, 2012; Chauvet, 2015).

Algunas de las principales recomendaciones de la Conabio acerca de la liberación de soya transgénica en la península de Yucatán estaban relacionadas con la posible afectación a la actividad apícola en esa zona, tanto por su efecto nocivo para la diversidad biológica como por su importancia económica, ya que el valor de la producción apícola para 2010 era superior 2.9 veces al de la producción de soya en la península. Otra argumentación de gran valor para la sustentabilidad ambiental era que el herbicida que se utiliza en el cultivo podría llegar a los mantos freáticos, por las características de las aguas subterráneas de la región, que son únicas en el mundo (Conabio, 2012; Chauvet, 2015).

Pese a lo anterior se otorgaron permisos para la siembra comercial de soya tolerante a herbicida, y los efectos advertidos empezaron a mostrarse; así, la Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN) en 2016 resolvió favorablemente varios amparos de comunidades indígenas de Campeche y Yucatán contra la siembra comercial de soya tolerante a herbicida, ya que en su momento no habían sido consultadas, y ordenó a la Cibiogem y a la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas realizar dicha consulta, ordenada por la propia SCJN un año antes (Conabio, 2012; Aranda, 2016). Lo anterior muestra, por un lado, la necesidad e importancia de realizar evaluaciones ex ante que incluyan aspectos de tipo socioeconómico acerca de la liberación de un producto, y de complementarlas con un monitoreo flexible para corregir sobre la marcha los efectos que se presenten, a fin de propiciar procesos de gobernanza que sean transparentes y participativos.

Reflexiones sobre el futuro de las plantas transgénicas en el mundo

La respuesta a si las plantas transgénicas pueden contribuir al desarrollo sustentable es de tipo condicional. Las plantas modificadas genéticamente pueden tener contribuciones significativas al incremento de la productividad agrícola, con sustentabilidad, si sus productos son desarrollados para satisfacer las necesidades locales y regionales, pero también si son utilizados de manera sustentable y son monitoreados durante su ciclo de vida para corregir cualquier eventual efecto negativo que se presente (NASEM, 2016).

Los resultados por usar OGM dependen del contexto regulatorio, agrícola, económico y social donde van a ser asentados y del periodo de investigación. Los OGM necesitan ser analizados caso por caso (Bonny, 2011: 1304), de ahí la importancia de que los formuladores de políticas entiendan

las circunstancias en las que cada cultivo genéticamente modificado puede contribuir a un desarrollo sustentable; esto requiere además tener en consideración que el acceso de los productores de menos recursos a tecnologías adecuadas necesita del desarrollo de capacidades, tanto de los actores involucrados como de tipo institucional (Azadi, *et al.*, 2015).

La evolución de la gobernanza de las plantas transgénicas en México muestra que se ha ido construyendo un contrapoder integrado por grupos de la sociedad civil, académicos y otros actores con capacidad de incidir en diferentes esferas del poder ejecutivo, legislativo y judicial que han logrado detener en algunos casos la liberación de plantas transgénicas, pero no han logrado avanzar en su posible redirección hacia objetivos de mayor beneficio social (Barajas y González, 2013); es decir, en una gobernanza colaborativa donde se generen nuevos espacios y mecanismos de participación, donde las visiones del futuro de un bien común guíen el desarrollo y adaptación de nuevas tecnologías de ingeniería genética y mejoramiento convencional.

Por otra parte, a escala internacional se está realizando un reacomodo entre las empresas multinacionales interesadas en el desarrollo de la agricultura biotecnológica; Monsanto, Bayer, Syngenta, Dupont y otras más, están estableciendo un verdadero oligopolio internacional que tendrá bajo su control la producción de alimentos, y para lograr esto, además de importantes acuerdos de colaboración e integración industriales y comerciales, están apoyando y promoviendo el desarrollo de nuevas tecnologías biológicas.

Las nuevas tecnologías aplicadas al campo vegetal son muy numerosas y se encuentran en diferentes estadios de desarrollo. Una comparación de similitudes y diferencias entre dos de las principales tecnologías se presenta en el cuadro 2; se considera que ambas tecnologías se utilizarán en un futuro cercano, sin embargo las ventajas de la edición de genes permiten suponer que será la que finalmente predomine. Debe reconocerse que en los últimos veinte años la mayoría de las plantas transgénicas fueron obtenidas modificando el nivel de expresión de un gen existente con o sin otros cambios en la secuencia codificadora del gen; sin embargo la nueva técnica genómica, CRISPR/ cas9 permitirá editar cualquier clase de gen y varios genes al mismo tiempo; los alcances y repercusiones aún son difíciles de estimar, pero todo el mundo piensa que serán enormes.

TABLA 2. COMPARACIÓN ENTRE LAS TECNOLOGÍAS DE ADICIÓN DE TRANSGÉNICOS Y DE EDICIÓN DE GENES PARA HACER CAMBIOS GENÉTICOS

<i>Transgénicos</i>	<i>Edición de genes</i>
Cualquier gen, incluyendo foráneos	Cualquier gen, incluyendo foráneos
Regulación hacia arriba o hacia abajo de cualquier gen	Regulación hacia arriba o hacia abajo de cualquier gen
Puede adicionar múltiples genes simultáneamente	Puede editar muchos genes simultáneamente
Permanecen los alelos endógenos	Los alelos endógenos son alterados
La posición en el cromosoma no se selecciona	La posición en el cromosoma se enfoca con mucha precisión
Generalmente se retiene el marcador de selección	No se retiene el marcador de selección
La acumulación de genes se dificulta	La modificación de varios genes es fácil
Los genes se seleccionan y se rastrean fácilmente	Montón de genes son más difíciles de seleccionar y de rastrear
Homocigotos solamente o en dos o más generaciones	Homocigotos en una generación
La genética estándar se perturba	La genética estándar se retiene
No se escala	Se escala fácilmente

Las plantas transgénicas fueron concebidas, diseñadas y finalmente comercializadas con el propósito de desarrollar una agricultura sustentable; sin embargo, en la práctica éste no ha sido el caso o al menos existen grandes cuestionamientos sobre sus bondades, y hay otros aspectos que no fueron considerados en el diseño original: ecológicos, nutricionales, sociales, culturales, etc., que han hecho que en varios países del mundo no se adopten y en otros casos haya un claro rechazo.

Será menester que los ciudadanos de México y de otras regiones del mundo decidan sobre la conveniencia de aceptar o rechazar plantas transgénicas o nuevos cultivos modificados genéticamente mediante modernas tecnologías; no es sencillo prever cuál será el futuro elegido, por tanto, es responsabilidad de las generaciones futuras tomar la decisión.

Referencias bibliográficas

- Azadi, H., M. Ghanian, O. M. Ghoochani, P. Rafiaani, C. Tanning, R. Hajivand y T. Dogot (2015), "Genetically modified crops: Towards agricultural growth, agricultural development, or agricultural sustainability?", *Food Reviews International*, 31(3), pp. 195-221.
- Barajas, R. E. y R. L. González (2013), "Del rechazo al rediseño de la tecnología: un análisis de los alcances y limitaciones del movimiento anti-maíz transgénico en México, en A. Arellano, M. Chauvet y R. Viales (coords.), *Redes y estilos de investigación: ciencia, tecnología, innovación y sociedad en México y Costa Rica*, México, México, UAM/ UAEM/ Miguel Ángel Porrúa, pp. 15-54.
- Bellon, R. y J. Berthaud (2004), "Transgenic maize and the evolution of landrace diversity in Mexico: The importance of farmers' behavior", *Plant Physiology*, 134, pp. 883-888.
- Bonny, S. (2011), "Herbicide-tolerant transgenic soybean over 15 years of cultivation: Pesticide use, weed resistance, and some economic issues. The Case of the USA, *Sustainability*, 3, pp. 1302-1322.
- Bravo, A. y R. Quintero (1993), Importancia y potencial del *Bacillus thuringiensis* en el control de plagas RLAC/93/11-REDBIO-04, Santiago de Chile, Oficina Regional de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Brookes, G. y P. Barfoot (2015), GM crops: *Global socio-economic and environmental impacts*. 1996-2013, Dorchester, Reino Unido, PG Economics.
- Chauvet, M. (2015), *Biotecnología y sociedad*, México, Biblioteca Básica-UAM.
- González, R. L. (2004), *La biotecnología agrícola en México: efectos de la propiedad intelectual y la bioseguridad*, colección Breviarios de la Investigación, México, UAM-Xochimilco.
- James, C. (1995), Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 1995, ISAAA, Ithaca, Nueva York, ISAAA.
- James, C. (2015), Global status of commercialized biotech/ GM Crops, ISAAA, Brief 51, Ithaca, Nueva York, ISAAA.

James, C, P, Teng, M. Arujanan, R. Aldemita, R. Flavell, G. Brookes y M. Qaim, *Invitational Essays to Celebrate the 20th Anniversary of the Commercialization of Biotech Crops (1996 to 2015): Progress and Promise*. ISAAA, Brief 51, Ithaca, Nueva York, ISAAA.

NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine) (2016), *Genetically engineered crops: Experiences and prospects*, Washington, DC, The National Academies Press.

Quintero, R. (2016) *¿Qué espera la sociedad de un Biotecnólogo?* Recuperado el 15 de agosto de 2016, de videos.cua.uam.mx/Play/852

Wegier, A., A. Piñeiro-Nelson, J. Alarcón, A. Gálvez-Mariscal, E. Álvarez Buylla y D. Piñeiro (2011), "Recent long-distance transgene flow into wild populations conforms to historical patterns of gene flow in cotton (*Gossypium hirsutum*) at its centre of origin", *Molecular Ecology*, 20, pp. 4182-4194.

Referencias electrónicas

Antoniou, M., P. Brack, A. Carrasco, J. Fagan, M. Habib, P. Kageyama, C. Leyfert, R. O. Nodari y W. Pengue (2010), *Soja transgénica: ¿sostenible?, ¿responsable?*. GLS Gemeinschaftsbank y ARGE Gentechnik-frei. Recuperado el 5 de mayo de 2016, de <http://bit.ly/9D9J2k>

Aranda, J. (2016), *Suspensión de permiso para sembrar soya transgénica sólo ampara a quejosos*. Recuperado el 23 de junio de 2016, de: <http://www.jornada.unam.mx/2016/06/23/sociedad/035n1soc>

CDB (Convenio sobre Diversidad Biológica) (1992), *Introducción*. Recuperado el 1 de mayo de 2016, de <https://www.cbd.int/intro/default.shtml>

Conabio (2012), *Resultados del análisis de riesgo a la solicitud 007/2012 para la liberación al ambiente de Glycine max (L.)*. Recuperado el 5 de mayo de 2016, de http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Rec_007_2012_Conabio.pdf

PC (Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre Diversidad Biológica) (2000), Recuperado el 1 de mayo de 2016, de <http://bch.cbd.int/protocol/text/>

La sustentabilidad como eje transversal para la formación integral de los alumnos de Ingeniería Biológica de la UAM-Cuajimalpa

*Dolores Reyes Duarte
Alejandra García Franco
Marcia Guadalupe Morales Ibarría*

Introducción

La educación para la sustentabilidad se promovió a escala global por primera vez en 1975, cuando la ONU, por medio de la UNESCO y PNUMA, lanzó el Programa Internacional de Educación Ambiental. En 1992 se consolidó como tendencia global cuando en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro se produjo el documento del foro global que se tituló Tratado de Educación Ambiental para Sociedades Sustentables y Responsabilidad Global. Ya desde ese momento se consideraba necesario promover la capacitación de recursos humanos para preservar y administrar el ambiente como parte del ejercicio de la ciudadanía.

Desde hace varios años la tendencia de las universidades es hacia la incorporación de los conceptos de sustentabilidad en el desarrollo de la enseñanza universitaria, y existen varias iniciativas y organizaciones dedicadas a ello. Una de éstas es la iniciativa de las Naciones Unidas presentada en 2002, que se llamó “Una década de educación para el desarrollo sustentable (UN, DESD), 2005-2014”, cuyo objetivo es integrar los principios, valores y práctica del desarrollo sustentable en todos los aspectos de la educación y aprendizaje. Este esfuerzo educativo pretende alentar cambios en el comportamiento para crear un futuro más sustentable en términos de integridad económica, viabilidad económica, y una sociedad justa para las generaciones presentes y futuras” (UNESCO, 2010).

Las instituciones de educación superior desempeñan un papel particularmente importante en la promoción de la sustentabilidad, por un gran número de razones, como son (Littleddyke *et al.*, 2013):

- Educan a las siguientes generaciones de individuos y profesionales, quienes tendrán una influencia significativa sobre la sustentabilidad en sus entornos de influencia, en su comunidad y en el plano profesional.
- Son centros de investigación y enseñanza que pueden tener un impacto sobre el desarrollo y mejoramiento de prácticas sustentables y procesos en diferentes disciplinas.
- Abarcan una amplia audiencia, que incluye los ámbitos locales, que incorpora la adecuación de planes de estudio y planificación de actividades o proyectos demostrativos.
- Sirven como modelo para educar e influenciar a los miembros de la universidad y de la comunidad, mediante prácticas que minimicen la huella ecológica.

Los aspectos de sustentabilidad en la educación superior desde los puntos de vista de aprendizaje e institucionalización han sido revisados por Wals (2014). La principal conclusión de ese trabajo es que las instituciones de educación superior están empezando a hacer cambios sistémicos hacia la sustentabilidad mediante la reorientación de su educación, la investigación, las operaciones y actividades de extensión a la comunidad, todos al mismo tiempo o, lo que es más frecuente, considerándolo como un subconjunto de los mismos. Algunas universidades ven en la sustentabilidad una nueva manera de organizar y perfilarse a sí mismos. Se han presentado excelentes revisiones sobre las formas de incorporar la sustentabilidad al currículum universitario (Allen y Shonnard, 2012; Fraser, 2014), incluyendo algunas iniciativas en América Latina (Geli y Leal, 2006; Vargas y Lean, 2015).

De acuerdo con el plan de incorporación de la sustentabilidad en la Ingeniería, algunas universidades han propuesto (Vargas y Lean, 2015) las siguientes competencias como los aspectos a desarrollar por los alumnos en el plan curricular:

- Asociar la sustentabilidad a sistemas complejos en sus dimensiones sociales, ambientales y económicas.
- Asumir la sustentabilidad como un atributo de su profesión relacionado con el pensamiento crítico y la responsabilidad.
- Integrar las herramientas educacionales en la práctica de su propio campo de especialización o desarrollo.
- Discutir, promover y proponer soluciones sustentables en su ámbito de desarrollo (personal/ local/ profesional).

Respondiendo a este movimiento, en el presente capítulo se propone una serie de estrategias y ejemplos acerca de cómo puede incorporarse la sustentabilidad, de manera transversal, en el plan curricular de la Licenciatura en Ingeniería Biológica que se imparte en la Unidad Cuajimalpa de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-C). De esta manera, el alumno puede ir incorporando actividades y conceptos de sustentabilidad desde su ingreso a la Universidad, con la finalidad de que cuando termine sus estudios tenga un compromiso sólido para aplicarlos en su campo profesional y en su vida diaria.

La educación para la sustentabilidad en la UAM-Cuajimalpa

La UAM-C es la cuarta Unidad de la Universidad Autónoma Metropolitana. Su creación, 30 años después de que la UAM comenzó sus funciones, permitió una renovación de los principios y valores que dieron lugar a su fundación y que desde entonces la han situado en un lugar importante para el desarrollo de la vida nacional. Uno de los principios más importantes de la UAM-C es la incorporación de la sustentabilidad como una de sus líneas emblemáticas, lo cual implica que las actividades que en ella se realicen deben tenerla siempre presente.

Desde su creación, la UAM-C propuso asumir: “una visión biocéntrica — no antropocéntrica— del mundo, centrada en la importancia de la biodiversidad, la conciencia generacional, la comprensión de los retos ambientales, el desarrollo de las tecnologías para atemperar el deterioro ambiental, el entendimiento de las bases económicas y culturales que producen la destrucción del medio ambiente, adoptando un enfoque sistémico para la solución de problemas” (Fresán y Comas, 2005).

Para lograr hacer realidad esta visión es necesario que la sustentabilidad permee todo el plan curricular de las licenciaturas y se vea reflejado en los contenidos que se estudian, las habilidades que se desarrollan y las actitudes que se promueven.

La sustentabilidad en la formación inicial de los estudiantes de la UAM-C

El nivel del tronco general de formación inicial para todas las licenciaturas de la UAM-C pretende que los estudiantes construyan esquemas lógico-formales de pensamiento y que reconozcan la diversidad de lenguajes.

Este nivel está conformado por cuatro Unidades de Enseñanza Aprendizaje (UEA): Taller de Literacidad Académica, Introducción al Pensamiento Matemático, Seminario de Sustentabilidad, y otra asignatura que es diferente en cada una de las divisiones; en el caso de la División de Ciencias Naturales e Ingeniería, a la que pertenece la Licenciatura en Ingeniería Biológica, es el Taller de Matemáticas.

De manera específica, el Seminario de Sustentabilidad procura que los estudiantes puedan “comprender los principios y enfoques ambientales, sociales y económicos de la sustentabilidad, para evaluar, de manera crítica e informada, problemáticas complejas e integrar esta visión de análisis complejo en su desarrollo profesional y personal, de manera que pueda tomar decisiones coherentes con esta visión”. Esta UEA promueve la participación de los alumnos desde su ingreso, en actividades interdisciplinarias que integren la docencia y la investigación; se les motiva para que revisen ejemplos y desarrollen proyectos que tengan relación con los temas de investigación que los profesores desarrollan, o con los intereses propios.

De manera complementaria, las UEA generales tienen por objetivo iniciar el desarrollo de habilidades necesarias para el análisis complejo, por ejemplo el desarrollo del pensamiento crítico. Particularmente la UEA Taller de Literacidad Académica, busca introducir a los alumnos en la generación de textos y en la lectura crítica, lo cual es fundamental para la construcción de la cultura de la sustentabilidad. Para poder analizar un problema desde diferentes perspectivas (como siempre ocurre en los problemas relacionados con la sustentabilidad), es necesario reconocer y construir argumentos que sean válidos, y sostenerlos a partir de evidencias. El pensamiento sistémico que requiere la sustentabilidad también se fortalece mediante la UEA Introducción al Pensamiento Matemático, que busca producir habilidades en el manejo de lenguajes formales, y desarrollar las capacidades de abstracción y demostración.

Adicionalmente a estas cuatro UEA, que buscan introducir y familiarizar al alumno con el modelo educativo constructivista de la UAM-Cuajimalpa, existen en el plano institucional programas de separación de residuos y proyectos demostrativos sobre el uso de ecotecias (compostaje, lombricultura, humedales, procesamiento de biomasa, captura de CO₂ con organismos fotosintéticos, acuicultura y huertos urbanos, entre otros), que son responsabilidad de profesores de la unidad y donde se incluye la participación activa de alumnos de las diferentes licenciaturas.



Figura 1. Desarrollo sustentable a partir de la categoría temática. Adaptado de United Nations, 2001, 2007.

Si bien estas UEA generales y programas institucionales constituyen una base para proveer y entender los conceptos de sustentabilidad, los contenidos abordados en la UEA Seminario de Sustentabilidad no son suficientes para lograr un cambio en la mentalidad de los alumnos, sobre todo aquellos que deciden dedicarse a un campo de desarrollo diferente al ambiental. Por lo tanto, es deseable que a lo largo del plan curricular de cada licenciatura se adopte una serie de acciones que fomenten la incorporación gradual de los conceptos de sustentabilidad, sin perder de vista que la sustentabilidad tiene diferentes facetas, las cuales están interconectadas (aspectos ambientales, económicos y sociales, e institucionales; figura 1). Es decir, es importante visualizar un concepto global de sustentabilidad y reconocer su carácter multidisciplinario, donde cada una de las licenciaturas desarrolle en los alumnos la formación que les permita contribuir con su campo de especialidad, pero teniendo una visión integral en los aspectos a desarrollar y en las implicaciones por las acciones tomadas.

Todas las acciones deberán estar alineadas al Programa Interdisciplinario de Desarrollo de la UAM-C; algunas de las áreas donde se prevé que se puede incidir, se muestran en la figura 2.



Figura 2. Propuesta de áreas donde la Universidad puede aplicar el concepto de Desarrollo Sustentable.

La sustentabilidad en la Licenciatura en Ingeniería Biológica

La Licenciatura en Ingeniería Biológica de la UAM tuvo su primer ingreso en 2008, e inició sus actividades con una planta académica formada por profesores del Departamento de Procesos y Tecnología, para enfrentarse a las necesidades de formación de recursos humanos capaces de desarrollar y de aplicar tecnologías y procesos que involucren sistemas biológicos.

Así, por su inherente interconexión con la sustentabilidad, la Licenciatura en Ingeniería Biológica provee a los alumnos de bases que les permiten comprender los principios y mecanismos de acción de los organismos que se utilizan en alternativas biológicas para la solución de problemáticas ambientales, con un enfoque de: 1) biorremediación de la contaminación, 2) desarrollo de materiales alternativos, 3) formas de procesamiento/ transformación de materiales con menor impacto ambiental y 4) alternativas energéticas renovables.

Sin embargo, para tener una sólida incorporación de los principios de sustentabilidad es necesario que se continúen enseñando y practicando los principios que se presentan formalmente en la UEA Seminario de Sustentabilidad, ahora de manera transversal durante el transcurso del plan curricular de la licenciatura.

De manera general, algunas de las alternativas de incorporación de los conceptos de sustentabilidad a la educación de la ingeniería pueden ser: 1) introducir los tópicos relacionados con la sustentabilidad directamente al plan curricular; 2) incorporarlos como una especialización terminal, 3) crear unidades académicas dedicadas a los tópicos relacionados con la sustentabilidad, y 4) desarrollar actividades extracurriculares.

Actualmente, en el programa de estudios de la Licenciatura en Ingeniería Biológica existen las dos primeras opciones, considerando que el alumno cursa al menos dos UEA de manera obligatoria; una, como ya se mencionó, es el Seminario de Sustentabilidad, cuyos objetivos y alcances se describieron previamente; la otra es el Seminario de Ingeniería Ambiental, que junto con la opción bloque terminal de la licenciatura, se explica en la sección Nivel: formación profesional, en la siguiente sección. La tercera opción tendría que hacerse de manera consensuada por la planta académica, y posiblemente de modo interdivisional, siendo aprobada a escala institucional; y la cuarta, aunque ya se lleva a cabo (el caso de lombricultura, descrito más adelante), no asegura la participación de todos los alumnos.

Desarrollo progresivo del tema de la sustentabilidad por medio del currículum

En el cuadro 1 se muestra un resumen del conocimiento que los autores de este capítulo consideran se debe tener sobre sustentabilidad en la Licenciatura de Ingeniería Biológica. En ella se presentan los tres niveles de desarrollo del avance curricular del plan de estudios: el tronco general de formación inicial, la formación básica y la formación profesional; para cada nivel se incluyen los conceptos clave y herramientas por cada elemento.

Nivel: tronco general de formación inicial

Los alumnos son introducidos al concepto de sustentabilidad por los profesores que enseñan la UEA Seminario de Sustentabilidad durante las primeras semanas en la Universidad. De manera paralela, en las otras UEA generales (Taller de Literacidad Académica e Introducción al Pensamiento Matemático) se pueden poner ejemplos y ejercicios relacionados con la sustentabilidad. Cabe mencionar que en este primer trimestre de UEA generales los alumnos de Ingeniería Biológica comparten clases con los alumnos de las licenciaturas de las tres divisiones académicas que conforman la UAM-C: Administración, Derecho, Estudios Socioterritoriales y Humanidades, de la

División de Ciencias Sociales y Humanidades (CSH); Ciencias de la Comunicación, Diseño, Tecnologías y Sistemas de Información, de la División de Ciencias de la Comunicación (CCD); Biología Molecular, Ingeniería en Computación y Matemáticas Aplicadas, de la División de Ciencias Naturales e Ingeniería (CNI). Esta mezcla de alumnos permite que ellos mismos interactúen y trabajen en equipos diferentes, independientemente de sus intereses académicos, lo que fomenta una diversidad de inquietudes sobre cómo abordar la sustentabilidad. De acuerdo con el cuadro 1, desde las primeras semanas los alumnos se introducen en los conceptos de Ecosistemas e Implicaciones de la sustentabilidad, desde puntos de vista ambientales, sociales y económicos. De igual manera, van comprendiendo la importancia de mantener los recursos naturales como un bien común: proteger la diversidad cultural, y reconociendo el impacto del desarrollo económico y sus riesgos. Algunas herramientas comúnmente utilizadas por los profesores en esta UEA para alcanzar el objetivo de que los alumnos comprendan el concepto de sustentabilidad y sean capaces de evaluar de manera crítica e informada problemáticas complejas, son: juegos de papeles y manejo de dilemas para fomentar la discusión razonada, e investigaciones de casos reales y su exposición. La diversidad de temas que se pueden analizar van desde proyectos de energías renovables, estrategias de reciclaje, pérdida de biodiversidad, desarrollos sustentables en comunidades indígenas y de bajos recursos, desarrollo de software libre, hasta análisis de empresas socialmente responsables y su impacto social y económico (ESR, 2016), entre muchos más.

Nivel: formación básica

En este nivel los alumnos se van introduciendo a los fundamentos de la Ingeniería Biológica, mediante la presentación de problemas de diseño y tareas específicas a desarrollar desde los primeros días. Las UEA de este nivel pretenden que los alumnos vayan desarrollando los conceptos de las disciplinas básicas (Química, Física, Bioquímica, Matemáticas, entre otros) y adquieran los conocimientos fundamentales (de Termodinámica, Fisicoquímica, Balances de Materia, Energía, Mecánica de Fluidos, entre otros) para poder cursar las UEA asociadas a la Ingeniería en el nivel de formación profesional. En cada una de estas UEA existen oportunidades para que los estudiantes puedan reflexionar en torno a la sustentabilidad; ello depende en gran medida de las actividades y tareas propuestas por los docentes. Un concepto clave a desarrollar en este nivel es el concepto de Química Verde, y la manera como las alternativas biológicas pueden contribuir a este concepto y a la sustentabilidad. Estos conceptos se pueden revisar en el capítulo "Estudios de caso: la aplicación de los principios de Química Verde

e Ingeniería Verde”, de Maribel Hernández et al., en este libro. En este nivel también da inicio la integración de conocimientos teóricos en los laboratorios experimentales; en ellos el objetivo es realizar prácticas y experimentos sobre temas específicos asociados a las diferentes UEA teóricas que se integran de manera experimental en los tres laboratorios de ciencias. Una estrategia que se está desarrollando en estos laboratorios y de la cual se amplía la información más adelante, es el uso de técnicas de microescala para los ensayos experimentales. Así, por ejemplo, cuando se revisa en el Laboratorio de Ciencias I el tema de enlace químico, correspondiente a Química, el uso de reactivos puede llegar a disminuir en un orden de magnitud de 50 a 0.5 mL, por ejemplo, o incluso más. Un caso similar ocurre en el Laboratorio de Ciencias II al revisar los temas de reacciones químicas (en las UEA de Bioquímica I y Química Orgánica): se puede estudiar la reacción de hidrólisis de sacarosa en glucosa y fructosa (comúnmente conocida como “inversión de sacarosa” por su cambio de comportamiento frente a la luz polarizada de dextrógira en sacarosa a levógira en la mezcla de glucosa y fructosa), ya que puede ser catalizada biológicamente por enzimas (invertasa, también conocida como sacarasa o β -fructosidasa), o químicamente por ácido clorhídrico. Aquí, el uso de enzimas como estrategia sustentable se puede revisar en el capítulo “Estudios de caso: la aplicación de los principios de Química Verde e Ingeniería Verde, ya mencionado. Adicionalmente, la reducción de los volúmenes de reacción gracias al uso de nuevos equipos de espectrofotometría con celdas de 1 mL (antes eran tubos de 5 mL) y a técnicas de microescala, permiten aplicar estrategias más sustentables en este nivel.

Nivel: formación profesional

Al igual que en la formación básica, las UEA de este nivel (cuadro 1) pretenden que los alumnos desarrollen los conceptos de las disciplinas profesionalizantes de la Ingeniería. Entre las UEA a cursar se encuentran: Ingeniería de Biorreactores I y II, además de Procesos de Separación y Diseño y Simulación de Bioprocesos, donde los conocimientos específicos para cada una de ellas se pueden complementar introduciendo y aplicando conceptos o indicadores de sustentabilidad a la Ingeniería de Bioprocesos. Se debe hacer énfasis en la contribución de un Ingeniero Biólogo al desarrollo sustentable, tendencias y perspectivas de la industria biotecnológica, teniendo siempre en cuenta los conceptos de responsabilidad ambiental, social y evaluación económica, así como aspectos de riesgo. Además, debe familiarizarse al alumno con conceptos como impacto ambiental de un bioproceso, huella de carbono, huella hídrica, retorno de energía y evaluación del ciclo de vida de un bioproducto o bioproceso (Glasse y Haile, 2011). Para lo anterior,

se aplicarán los principios generales de diseño sustentable, considerando los suministros de materiales, energía y uso del agua, buscando siempre la minimización de la emisión de residuos peligrosos, el buen uso de los materiales y el ahorro de energía, y teniendo en cuenta la legislación para proteger la salud de los humanos y de los ecosistemas. Finalmente, es muy importante que el alumno conozca las herramientas para la realización del análisis de ciclo de vida y sus consecuencias.

Por otro lado, y de manera obligatoria, todos los alumnos en este nivel deben cursar el Seminario de Ingeniería Ambiental, que tiene por objetivo identificar las diferentes áreas de la Ingeniería y la Biotecnología que se aplican a la solución de problemas del medio ambiente. Uno de los temas a abordar aquí es el manejo del concepto de “producción industrial más limpia”, con un enfoque hacia la prevención de la contaminación ambiental y la conservación de la biodiversidad. Además, en este nivel, y para los alumnos que decidan que el medio ambiente será su área de desarrollo profesional, se tiene la alternativa de cursar tres temáticas de especialización, que son: Temas Selectos en Ingeniería Biológica, donde se pueden abordar contenidos sobre Química Ambiental; Tratamientos Biológicos Avanzados para la Solución de Problemas Ambientales; Tratamientos de Agua, Suelos y Aire; Bio-refinerías, o alguna otra temática específica y de actualidad definida por los profesores. Por otra parte, existen dos posibilidades adicionales para que el alumno interesado en la sustentabilidad profundice y se oriente en estos conceptos; éstas son: 1) las dos UEA de proyecto terminal (lo que en otras instituciones se conoce como tesis), donde desarrolla un tema que le servirá como trabajo final y donde aplicará los conocimientos adquiridos en la licenciatura, y 2) la movilidad, donde el alumno proveniente de instituciones diferentes a la UAM-C puede complementar su formación sobre sustentabilidad.

Todo lo anteriormente expuesto incluye la incorporación de conceptos de sustentabilidad al plan de estudios, actual sin cambios sustanciales en la carga crediticia de los alumnos; sin embargo su implementación estaría sujeta a la disposición y compromiso por parte de los profesores.

Para complementar y apoyar lo anterior, podría diseñarse un plan de apoyo sustentado en la impartición de horas extra a base de talleres que pudieran eventualmente acreditarse como horas de servicio social o como alguna unidad optativa; sin embargo esto tendría que formalizarse por los conductos institucionales correspondientes. En estos talleres se proveería a los alumnos de los conceptos sobre sustentabilidad necesarios, con dinámicas motivadoras para los niveles iniciales, y en una etapa más avanzada se les pediría realizar el análisis de una situación real en una planta química o de productos biotecnológicos, donde los alumnos evalúen riesgos y se les

planteen ejemplos de tecnologías limpias y sus aplicaciones en diferentes áreas de la Ingeniería Biológica. La idea es poner de manifiesto la gama de aplicaciones y conceptos de sustentabilidad y analizar los obstáculos a la aplicación de tecnologías limpias. Adicionalmente se les pueden plantear problemas donde se enfatice el uso de materiales alternativos, enfoques de diseño para las operaciones unitarias, tales como la separación y diseño del biorreactor y su efecto sobre la sustentabilidad de los procesos o ciclo de vida de los productos. En esta alternativa los resultados de aprendizaje de sustentabilidad se reunirían en un gran proyecto final de diseño que los alumnos deberán desarrollar en grupos interdisciplinarios. Aquí los tres componentes de la sustentabilidad —responsabilidad ambiental, rentabilidad económica y desarrollo social— representan una parte del diseño de la planta para satisfacer las especificaciones dadas, atendiendo problemáticas locales (universidad, comunidad), industriales; nacionales e internacionales.

Ejemplos de iniciativas sustentables en la Licenciatura en Ingeniería Biológica

A continuación se presentan ejemplos específicos de actividades extracurriculares que se están llevando a cabo para la Licenciatura en Ingeniería Biológica, con la idea de fomentar el conocimiento y aplicación de la sustentabilidad de manera transversal.

Lombricultura, ejemplo de una actividad extracurricular

El proyecto de lombricomposteo se realiza con base en el esquema de investigación de la Coordinación de Ingeniería Biológica titulado “Desarrollo de materiales didácticos y estrategias de enseñanza-aprendizaje para la Licenciatura en Ingeniería Biológica”, aprobado por la DCNI, y en el que participan principalmente alumnos de dicha licenciatura. Este proyecto tuvo su origen por iniciativa de los alumnos en la UEA Seminario de Sustentabilidad (Ingeniería Biológica, Generación 14-O), y actualmente forma parte de una de las estrategias de proyectos integradores para que los alumnos lo desarrollen a lo largo de su estancia en la licenciatura y fomenten su creatividad, aplicación de los conocimientos adquiridos, y motiven su espíritu emprendedor. Este proyecto también forma parte de las Ecotecnias que promueve y apoya la UAM-Cuajimalpa.

La lombricultura es una tecnología que consiste en el cultivo de lombrices para procesar los desechos orgánicos y obtener diversos productos como: humus de lombriz (sólido o líquido) y biomasa. La lombriz *Eisenia foetida*,

CUADRO 1. SUSTENTABILIDAD EN LA

UEA involucradas	
<p>Nivel 1 Tronco General de Formación Inicial: Fortalecer las estructuras cognitivas y el desarrollo de pensamiento vertical y matemático orientadas a la construcción de conocimiento que permitan a los alumnos introducirse a los campos fundamentales de las matemáticas y en la realidad social contemporánea, reconociendo el potencial de la formación universitaria y de su propia formación</p>	
<p>Seminario de sustentabilidad, Introducción al Pensamiento Matemático, Literalidad Académica</p>	<p>Principios ecosistemas</p>
<p>Nivel 2 Formación básica: Cimentar en el alumno una formación teórica y metodológica en los campos de la biología, física, química y matemáticas,</p>	
<p>Calculo Diferencial, Introducción a la Ingeniería Biológica, Química, Física I, Laboratorio de Ciencias I Cálculo Integral, Sistemas Biológicos, Química Orgánica, Física II. Ecuaciones diferenciales, Bioquímica I, Termodinámica, Balance de Materia, Laboratorio de ciencias II Estadística, Bioquímica II, Fisicoquímica, Balance de Energía. Microbiología, Técnicas Instrumentales modernas, Laboratorio de Ciencias III. Taller de Métodos Numéricos</p>	<p>Química Verde e Ingeniería</p>
<p>Nivel 3 Formación profesional: Desarrollar las habilidades profesionales de los campos científicos y técnicos de la Ingeniería Biológica y lograr el dominio de los conocimientos teóricos y prácticos, de las habilidades metodológicas y de las destrezas específicas necesarias para el desarrollo profesional.</p>	
<p>Mecánica de Fluidos, Biología Molecular, Biofísica, Transferencia de Calor y Masa I, Ingeniería Económica Ingeniería Genética y Técnicas Moleculares, Estructura Molecular de Biomateriales, Transferencia de Calor y Masa II, Laboratorio de Ingeniería I Diseño y Análisis de Experimentos, Seminario de Ingeniería de alimentos, Seminario de Ingeniería ambiental, Ingeniería de Biorreactores I, Procesos de Separación Diseño y Simulación de Bioprocesos, Proyecto Terminal I, Ingeniería de Biorreactores II, Laboratorio de ingeniería II, Temas Selectos en Ingeniería Biológica I Dinámica y Control, Bioinformática, Proyecto Terminal II, Temas Selectos en Ingeniería Biológica II, Temas Selectos en Ingeniería Biológica III</p>	<p>Análisis de ciclo de vida</p>

EDUCACIÓN DEL INGENIERO BIÓLOGO

<i>Etapa sustentabilidad</i>	<i>Conceptos y herramientas clave</i>
	<p>como ingenieros biólogos para auspiciar mejores condiciones de vida para nuestra sociedad y para el propio alumno. Promover, además, el compromiso de los alumnos con su proceso de formación para lograr el perfil del programa de licenciatura y su permanencia hasta el término de los estudios.</p>
<p>Introductoría</p>	<p>Los alumnos se van introduciendo en los conceptos e implicaciones de la sustentabilidad, desde puntos de vista ambientales, sociales y económicos; van entendiendo la importancia de mantener los recursos naturales como un bien común, de proteger la diversidad cultural y van reconociendo el impacto del desarrollo económico y sus riesgos. La diversidad de temas que se pueden analizar van desde proyectos de energías renovables, estrategias de reciclaje, pérdida de biodiversidad, desarrollos sustentable en comunidades indígenas y de bajos recursos, desarrollo de software libre, hasta análisis de empresas socialmente responsables y su impacto social y económico.</p>
	<p>Fortalecer las capacidades de abstracción, análisis y síntesis (aplicación del método deductivo e inductivo) en la identificación y resolución de problemas.</p>
<p>Adquisición de fundamentos y ejemplos</p>	<p>Los alumnos se van introduciendo a los fundamentos de la ingeniería biológica, presentándoles problemas de diseño y tareas específicas a desarrollarse. Inicia la integración de conocimientos entre distintas UEA con laboratorios experimentales. En cada una de las UEA y laboratorios integratibos se introducirán conceptos de química verde, minimización de residuos y ahorros de energía.</p>
	<p>Por otro lado, se busca también propiciar el desarrollo de habilidades para el trabajo en equipo (planeación, desarrollo, evaluación de la calidad y socialización de resultados) a través del abordaje de proyectos interdisciplinarios que requieran la integración de las ciencias biológicas, físicas, químicas o de la Ingeniería como herramienta de análisis, moderación y simulación para la solución de problemas.</p>
<p>Aplicación de conceptos de sustentabilidad a la ingeniería de Procesos</p>	<p>Los alumnos cuentan con fundamentos de la ingeniería biológica y se complementarán los conceptos de sustentabilidad en el desarrollo de procesos de producción que involucren materiales biológicos. Se deberán familiarizar con conceptos como impacto ambiental de un bioproceso, la huella de carbono, hídrica, retorno de energía y evaluación del ciclo de vida de un bioproducto o bioproceso y donde incorporen los principios generales de diseño sustentable considerando los suministros de materiales, ahorros de energía y de agua buscando siempre la minimización de emisión de residuos peligrosos y el buen uso de materiales. Deberán conocer la legislación y las herramientas para la realización del análisis de ciclo de vida y consecuencias.</p>

también conocida como lombriz roja californiana, es una especie comúnmente usada para el lombricomposteo que puede llegar a consumir diariamente una cantidad de residuos orgánicos semejante a su peso. Las lombrices del género *Eisenia foetida* también son de interés nutricional por su alto contenido de proteína (> 60%), riqueza en aminoácidos y valor nutricional superior a la carne bovina.

En este proyecto participan alumnos de diversos niveles académicos y diversas licenciaturas (Lombricultura, Ingeniería Biológica, 2016). En la figura 3 se describe la línea de tiempo de este proyecto, con actividades ya realizadas o potenciales por realizar.

Laboratorios de Ciencias y Microescala, ejemplos de tópicos de sustentabilidad introducidos en el plan curricular

Una de las maneras en que la línea emblemática de sustentabilidad se materializa en la Licenciatura en Ingeniería Biológica es mediante la incorporación de las técnicas de microescala, en los laboratorios de Ciencias que son parte de la formación básica de los estudiantes.

Las técnicas de microescala son formas de llevar a cabo procesos químicos utilizando pequeñas cantidades de sustancias químicas, sin comprometer la calidad y el estándar de las aplicaciones en los ámbitos educativo e industrial. La química a microescala se lleva a cabo reduciendo drásticamente la cantidad de sustancias químicas, y utilizando técnicas de manipulación seguras y sencillas, así como equipo de laboratorio en miniatura.

Las técnicas de microescala son compatibles con la aproximación de la Química Verde (que se describe en otra de las contribuciones de este libro, referenciada anteriormente), puesto que se centran en la prevención, al evitar la producción de sustancias innecesarias, la economía atómica y síntesis químicas menos peligrosas; es una química inherentemente más segura para prevenir riesgos. Respecto a la Química a escala convencional, la Química en microescala ha mostrado ser mejor en cuanto que produce menor riesgo de operación, menor cantidad de residuos, menor gasto de agua y disolventes, menor tiempo de operación, equipamiento, y reparación rápida y a bajo costo, con la posibilidad de hacer trabajo en el aula y en campo (Baeza, 2006).

Por otro lado, el uso de la microescala en los laboratorios de Química permite que los estudiantes y los profesores se concentren en aquellos aspectos

de la enseñanza experimental que son más relevantes: la interpretación y análisis de los resultados.

Las técnicas de microescala también promueven la fabricación de equipo de forma 'casera', utilizando pipetas de plástico, minas de carbón, jeringas desechables, entre otros, sin sacrificar la precisión necesaria en los experimentos que se realizan en la licenciatura (Baeza, 2006). Esta fabricación de equipo promueve la economía tecnológica, el desarrollo de la creatividad y el pensamiento crítico que permite imaginar diferentes soluciones para un mismo problema y evaluar las más adecuadas.

El uso reiterativo de las técnicas de microescala permite también que los estudiantes piensen continuamente en los principios de sustentabilidad y analicen los procesos que se lleven a cabo en cuanto a la cantidad de residuos que se generan, así como el riesgo que conllevan las sustancias que se manejan. De esta manera los estudiantes estarán preparados para analizar los problemas a los que se enfrentarán en su vida laboral.

Si bien no todas las experiencias en los laboratorios pueden llevarse a cabo a microescala, porque se requiere el desarrollo de otras habilidades experimentales o porque no se tiene el equipo apropiado, es fundamental que los estudiantes tengan acceso a ambos tipos de experiencias y puedan identificar sus ventajas y desventajas. El uso de las técnicas de microescala en los laboratorios es una muestra de cómo en las actividades cotidianas que se realizan en la Licenciatura en Ingeniería Biológica se consideran los principios de sustentabilidad y se da oportunidad para que los estudiantes desarrollen no sólo el conocimiento relacionado con la UEA específica, sino también las habilidades de pensamiento y las actitudes que le permitirán contribuir a la generación de una sociedad más sustentable.

Conclusión

Cualquier transformación hacia una sociedad sustentable comienza por la educación. El papel de las universidades públicas es particularmente relevante en la formación de egresados conscientes de la relevancia de la sustentabilidad que puedan contribuir con el desarrollo de una sociedad más sustentable. Los universitarios deben ser capaces de entender la multicausalidad de los problemas ambientales, y para ello es fundamental que durante su formación tengan múltiples oportunidades de analizar problemas relacionados con la sustentabilidad de manera interdisciplinaria.

Si bien en la Licenciatura en Ingeniería Biológica se han desarrollado prácticas cotidianas que ponen a la sustentabilidad en el centro del currículum y del desarrollo de habilidades de los alumnos, aún falta camino por recorrer. La formación de los académicos es un punto central, ya que la sustentabilidad es un tema que se ha incorporado sólo recientemente al currículum. También es necesario plantear más proyectos integradores no sólo de manera extracurricular (como en el caso de lombricultura), sino también dentro de los contenidos curriculares. Ello requiere un trabajo más en conjunto por parte de los docentes.

Otro reto, en las UEA interdivisionales, es que serían un espacio idóneo para el planteamiento de problemas relacionados con la sustentabilidad, dado que involucran temas relacionados con las Ciencias Sociales, las Ciencias Naturales y la Ingeniería, y la Comunicación y el Diseño. En la UAM-C se están haciendo esfuerzos al respecto, pero es claramente un espacio que aún puede desarrollarse para explotar todo su potencial (Fresán et al., 2015).

La sustentabilidad es un eje fundamental para el desarrollo de los estudiantes y de los docentes. Para que la UAM-C cumpla su papel como conciencia crítica de la sociedad, como formadora de estudiantes integrales que puedan cambiar al mundo que les tocó vivir, es imperativo continuar en el camino de la sustentabilidad, diversificar el tipo de proyectos que los estudiantes realizan, y profundizar en las discusiones sobre la implicación de cualquier actividad humana en el medio.

Referencias

- Allen D. T. y D. R. Shonnard (2012), "Sustainability in Chemical Engineering education: Identifying a core body of knowledge", *AIChE Journal*, 58(8), pp. 2296-2302. DOI 10.1002/aic.13877
- Baeza, A. (2006), *Química analítica a microescala total*. Recuperado el 18 de junio de 2016, de http://132.248.9.9/libroe_2007/quimanal/quimanal.pdf
- ESR (2016), "Empresas socialmente responsables", Centro Mexicano para la Filantropía. Recuperado el 16 de junio de 2016, de <http://www.cemefi.org/esr/>
- Fraser, R. (2014), *Report on integrating sustainability into higher education*, University of Hawaii, Mānoa Faculty Senate. Disponible en http://www.hawaii.edu/uhmfs/issues/research/2014_15/201407_research_sustainabilityhighered.docx

Fresán, M. y O. Comas (2005), *Estructura curricular*, México, UAM-Cuajimalpa.

Fresán, M. *et al.* (2015), “Apropiación del modelo educativo”, colección de libros electrónicos Una Década, México, UAM-C.

Geli, A. M., W. Leal (2006), “Education for sustainability in university studies. Experiences from a project involving european and latin american universities”, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, (7)1, pp. 81-93.

Glasse, J., S. Haile (2012), “Sustainability in chemical engineering curriculum”, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 13(4), pp. 354-364.

Little, M., E. Manolas y R. A. Little (2013), “A systems approach to education for sustainability in higher education”, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 14(4), pp. 367-383.

Lombricultura, Ingeniería Biológica. Recuperado el 16 de junio de 2016, de <https://www.facebook.com/LombriculturalB2015/?fref=ts>

Segalas J., D. Ferrer-Balas y K. F. Mulder (2010), What do engineering students learn in sustainability courses? The effect of the pedagogical approach”, *Journal of Clean Products*, 18, pp. 275–284.

UNESCO (2010), *Education for sustainable development*. Disponible en <http://www.unesco.org/new/en/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/mission/>. Recuperado el 15 de junio de 2016.

United Nations (2001), *Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies*, agosto, 1a. ed., Nueva York.

----- (2007), *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*, octubre, 3a. ed., Nueva York.

Vargas, L. S., M. C. Lean (2015), “A minor programme on sustainability for the engineering curriculum at the University of Chile”, W. Leal Filho *et al.* (eds.), *Integrating sustainability thinking in science and engineering curricula*, World Sustainability Series, pp. 21-29. DOI 10.1007/978-3-319-09474-8_2

Wals A. E. J. (2014), "Sustainability in higher education in the context of the UN, DESD: A review of learning and institutionalization processes", *Journal of Clean Products*, 62, pp. 8-15. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.007>



Seminario de Sustentabilidad
Taller de Literacidad Académica
Introducción al Pensamiento Matemático
Taller de Matemáticas

2014 Otoño

- Propuesta de elaboración de harina de lombriz como proyecto sustentable (UEA Sustentabilidad).
- Adquisición de lombrices y capacitación básica por el Centro Educacional Ambiental Memetlán.
- Elaboración de harina y presentación de poster en la Feria de Sustentabilidad.
- Participación inicial de 4 alumnos.



Cálculo Diferencial
Introducción a la Ing. Biológica
Química
Física I
Laboratorio de Ciencias I

2015 Invierno

- Concepción del proyecto (UEA Int. Ing. Biol.) y propuesta de la Coordinación de Ing. Biol. como una de las estrategias de enseñanza-aprendizaje para la licenciatura.
- Capacitación para el cultivo y mantenimiento de las lombrices.
- Preparación de un taller de inicio en Lombricultura para UAM-C.

Cálculo Integral
Sistemas Biológicos
Química Orgánica
Física III

2015 Primavera

- Preparación de material gráfico (folleto) del proceso de lombricultura (UEA Sistemas Biológicos).
- Participación en el Primer Simposio de las licenciaturas de la DCNI con un taller experimental y dos posters del proceso.
- Incorporación oficial al proyecto "Desarrollo de materiales didácticos y estrategias de enseñanza-aprendizaje para la licenciatura en Ingeniería Biológica", aprobado por la DCNI.



Ecuaciones Diferenciales
Bioquímica I
Termodinámica
Balance de Materia
Laboratorio de Ciencias II

2015 Otoño

- Convocatoria de ingreso a participar en el proyecto.
- Capacitación continua para el cultivo y mantenimiento de las lombrices para la comunidad de la UAM-C (selección de residuos de alimentos adecuados).
- Invitación a la Jornada de 10 años de Puertas Abiertas (UAM-C) y participación con un taller demostrativo "Crea tu propia lombricomposta"
- Participación de 10 alumnos de distintos trimestres.



Estadística
Bioquímica II
Fisicoquímica
Balance de Energía

2016 Invierno

- Inicio de nuevos lotes de cultivos registrando cantidades y tipo de residuos alimentados (UEA Bal. Materia).
- Aireación y mantenimiento en las mejores condiciones de humedad y temperatura.
- Participación de 12 alumnos de distintos trimestres y de otras licenciaturas.



Microbiología
Técnicas Instrumentales Modernas
Mecánica de Fluidos
Laboratorio de Ciencias III

2016 Primavera

- Trampeo (separación) de lombrices.
- Análisis de la composición química del humus obtenido y del residuo original (peso seco y análisis elemental) (UEA Técn. Instrum. Mod.).
- Análisis del balance de materia del proceso de transformación de residuos en biomasa (lombrices) y productos (humus) (UEA Bal. Materia, FQ. y Microbiol.).
- Aireación y mantenimiento.
- Participación en la 3ª Semana de Ingeniería Biológica con presentación de póster (13 alumnos).





Taller de Métodos Numéricos Biología Molecular
Biofísica
Transferencia de Calor y Masa I
Ingeniería Económica

2016 Otoño

- Propuestas de mejoramiento de técnicas de cultivo y trapeo de lombrices.
- Análisis comparativo de la calidad del humus y lombrices.
- Propuestas de desarrollo de mejores productos basados en los resultados de calidad debido a la selección de residuos (UEA Ing. Económica).
- Aireación y mantenimiento.
- Actividades de divulgación.

Ingeniería Genética y Técnicas Moleculares
Estructura Molecular de Biomateriales
Transferencia de Calor y Masa II
Laboratorio de Ingeniería I

2017 Invierno

- Medición de producción de CO₂ del proceso (UEA Lab. Ing.).
- Aireación y mantenimiento.
- Actividades de divulgación.



Diseño y Análisis de Experimentos
Seminario de Ingeniería de Alimentos
Seminario de Ingeniería Ambiental
Ingeniería de Biorreactores I
Procesos de Separación

2017 Primavera

- Preparación de material gráfico (folleto) del proceso de lombricultura (UEA Sistemas Biológicos). - Participación en el Primer Simposio de las licenciaturas de la DCNI con un taller experimental y dos posters del proceso.
- Incorporación oficial al proyecto "Desarrollo de materiales didácticos y estrategias de enseñanza-aprendizaje para la licenciatura en Ingeniería Biológica", aprobado por la DCNI.

Movilidad

2017 Otoño

- Diseño de un sistema de separación de lombrices.
- Aireación y mantenimiento.
- Actividades de divulgación.



Diseño y Simulación de Bioprocesos
Proyecto Terminal I
Ingeniería de Biorreactores II
Laboratorio de Ingeniería II
Temas Selectos en Ing. Biológica I

2018 Invierno

- Estudios de biodiversidad funcional de la microbiota de lombrices.
- Aireación y mantenimiento.
- Actividades de divulgación.



Dinámica y Control
Bioinformática
Proyecto Terminal II
Temas Selectos en Ingeniería Biológica II
Temas Selectos en Ingeniería Biológica III

2018 Primavera

- Estudios relacionados al proceso de biomineralización de CO₂ formando carbonatos. - Aireación y mantenimiento.
- Actividades de divulgación.



Guía de autores

Eduardo Peñalosa Castro
Rodolfo Quintero y Ramírez
Rosalva Landa Ordaz
Miriam Alfie Cohen
Esperanza García López
Nemesio Chávez Arredondo
Sergio Revah Moiseev
Octavio Saucedo Lucero
Leticia Arregui Mena
Arturo Rojo Domínguez
Christopher Heard
Rafael Calderón Contreras
Sandra Elizabeth Álvarez Orozco
Bernardo Bolaños Guerra
Oscar Adán Castillo Oropeza
Montserrat Cayuela Gally
Leonardo Díaz Abraham
Élodie Ségal
Sazcha Marcelo Olivera Villarroel
Brenda García Parra
Flor Yunuén García Becerra
Juan Antonio Velasco
Sergio Hernández Jiménez
Irmene Ortiz López
Maribel Hernández Guerrero
Roxana López Simeón
Hiram I. Beltrán Conde
Gabriel Viguera Ramírez
José Campos Terán
Dolores Reyes Duarte
Georgina Sandoval Fabián
Manuel Rodríguez Viqueira
Laura Elisa León Valle
Sylvie Le Borgne
Guillermo Baquerizo
Rosa Luz González Aguirre
Alejandra García Franco
Marcia Guadalupe Morales Ibarría

Semblanzas

Eduardo Peñalosa Castro

Es licenciado, maestro y Doctor en psicología educativa y del desarrollo por la UNAM. Ha publicado más de 50 textos, entre libros, capítulos y artículos especializados en las áreas de Cognición, Aprendizaje Complejo y Educación mediada por tecnologías; ha sido ponente en más de 40 congresos nacionales e internacionales. Cuenta con el nombramiento de Investigador Nacional del SNI, y otras distinciones derivadas de su trabajo de investigación. Ha realizado asesorías e investigación en evaluación y fomento del aprendizaje complejo en educación superior; ha diseñado planes y programas de estudio e impartido docencia a nivel licenciatura y posgrado en diversas universidades públicas y privadas; ha ocupado varios puestos de gestión y actualmente es Rector de la Unidad Cuajimalpa de la UAM.

Rodolfo Quintero y Ramírez

Ingeniero Químico por la UNAM. Maestro en Ingeniería Química por el MIT. Doctor en Ingeniería Bioquímica por la Universidad de Manchester. Profesor-Investigador de la UAM-Cuajimalpa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel III). Ha recibido varias distinciones: Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (1983), Doctorado Honoris Causa (UANL, 1993), Doctorado Honoris Causa (UAEM, 2012), Premio Universidad Nacional Área de Innovación Tecnológica y Diseño Industrial (1994), se creó la Cátedra “Dr. Rodolfo Quintero Ramírez” en la UAM-Cuajimalpa (2011) y se instituyó el Premio “Rodolfo Quintero Ramírez” a la mejor tesis doctoral del Programa de Posgrado de la UNIDA, ITV.

Rosalva Landa Ordaz

Bióloga. Maestra en Ecología y Ciencias Ambientales. Doctora en Ciencias Biológicas, con énfasis en sustentabilidad y planeación política. Asesora Ambiental del Gobierno Mexicano. Punto focal sobre riesgos y cambio climático de la ONU-Habitat para América Latina y el Caribe. Autora de libros

sobre Gestión Hídrica, Desarrollo Sustentable y Adaptación al Cambio Climático. Directora Científica de Conservación Internacional México. Asesora del Sistema de Naciones Unidas en México, de universidades y de organizaciones humanitarias.

Miriam Alfie Cohen

Profesora-Investigadora del Departamento de Ciencias Sociales de la UAM-Cuajimalpa. Doctora en Ciencias Sociales por la Universidad Iberoamericana, Campus Santa Fe. Líneas de investigación: Gobernanza, Gobernabilidad e Instituciones Ambientales; Riesgo Ambiental y Movimientos Ambientales en el Espacio de América del Norte. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel II).

Correo electrónico: malfie@correo.cua.uam.mx

Esperanza García López

Arquitecta por la Universidad Autónoma Metropolitana. Maestra en Ciencias del Medio Ambiente por la FUL, en Arlón, Bélgica. Maestra en Artes Visuales por la UNAM. Doctora en Arquitectura por la UNAM. Ha trabajado de manera profesional en obras de paisaje y arquitectura. Autora de varios libros y múltiples artículos y ponencias. Profesora-Investigadora en la UAM-Cuajimalpa.

Nemesio Chávez Arredondo

Biólogo Experimental por la UAM-Iztapalapa. Doctor en Ciencias Sociales y Humanidades por la UAM-Cuajimalpa. Comunicador Científico en todo tipo de medios, temas e instituciones por más de treinta y cinco años. Director del Museo de Historia Natural de la Ciudad de México. Autor y editor de innumerables libros, tanto de Comunicación de la Ciencia como de Arte. Profesor en el Departamento de Ciencias de la Comunicación de la UAM-Cuajimalpa, donde imparte materias relacionadas con la sustentabilidad, los lenguajes, la comunicación y la música.

Sergio Revah Moiseev

Profesor-Investigador, fundador del Departamento de Procesos y Tecnología de la UAM-Cuajimalpa. Ingeniero Químico por la UNAM. Maestro en Ciencias de los Alimentos por la Universidad de California, Davis, EUA.

Doctor en Bioprocesos por la Universidad Tecnológica de Compiègne, Francia. Egresado del programa LEAD de desarrollo sustentable del Colmex. Le interesa la docencia y la formación de estudiantes de Licenciatura y Posgrado en Bioingenierías e investigar y desarrollar biotecnologías ambientales para mejoramiento del aire, suelo y agua. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel III) y Premio Nacional de Ciencias y Artes en 2010.

José Octavio Saucedo Lucero

Licenciado en Química por la Universidad Autónoma de Coahuila. Doctor en Ciencias Aplicadas en Ciencias Ambientales, por el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica con estancia en la Universidad de Valladolid en España. Estancia posdoctoral en la UAM-Cuajimalpa en proyectos de mejora de calidad de aire de interiores en el laboratorio de bioprocesos del Departamento de Procesos y Tecnología.

Leticia Arregui Mena

Académica del Departamento de Ciencias Naturales de la UAM-Cuajimalpa. Licenciada en Biología por la UNAM con maestría y doctorado en Neurobiología Celular y Molecular por el CINVESTAV. Ha impartido cursos de Ecología en la Unidad Azcapotzalco, así como Seminario sobre Sustentabilidad y Cultura Ambiental en la Unidad Cuajimalpa. Participó en la generación de la UEA Seminario sobre Sustentabilidad que es parte del tronco común de la Unidad Cuajimalpa. Ha impartido el curso de Seminario sobre Sustentabilidad por varios años.

Arturo Rojo Domínguez

Profesor Titular del Departamento de Ciencias Naturales de la UAM-Cuajimalpa. Licenciado en Química por la UAM-Iztapalapa. Posgrado en Biofísica química por la UAM-Cuajimalpa. Sus investigaciones iniciaron con estudios experimentales en Desplegamiento y Termodinámica de Biomoléculas, y derivaron en Bioinformática y luego en Simulación Molecular para Diseño de Inhibidores y Fármacos Asistido por Computadora. Ha realizado estancias de investigación en la Universidad de Cambridge y en el Instituto Pasteur. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel III), en el área de Física, Matemáticas y Ciencias de la Tierra.

Christopher Heard

Licenciatura en Estudios de Energía del Depto. Ing. Química y Procesamiento de Combustibles (1979) y Doctor en Ingeniería del Medio Ambiente en Edificios (1983) ambos de la Universidad de Sheffield. Profesor y asesor de maestros de la Facultad de Arquitectura en la Universidad Autónoma de Baja California; director de tesis en la UNAM y en la UAM. Cuenta con 37 publicaciones en revistas internacionales y 9 nacionales; 24 presentaciones en congresos internacionales y 29 en congresos nacionales. Cuenta con una patente "Equipo mejorado intercambiador de calor entre líquido y fluidos". Es co-autor del libro "Water purification using heat pumps". Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias. Actualmente es Profesor Titular "C" del Departamento de Teoría y Procesos del Diseño de la División de Ciencias de la Comunicación y Diseño, Unidad Cuajimalpa, UAM.

Rafael Calderón Contreras

Maestro en Ciencias Ambientales y Desarrollo, Doctor en Desarrollo Internacional por la Universidad de East Anglia, Reino Unido. Ha impartido cursos a nivel licenciatura y posgrado en México e Inglaterra. Cuenta con una amplia experiencia en análisis de gobernabilidad y acceso a recursos naturales, con particular interés en las prácticas y procesos que constituyen la propiedad de los recursos. Sus intereses académicos y de investigación incluyen: acceso a recursos naturales, análisis socio-territoriales y de política ambiental, sistemas de información geográfica, riesgo, vulnerabilidad y resiliencia al cambio climático en Sistemas Socioecológicos.

Actualmente es profesor-investigador definitivo de la Universidad Autónoma Metropolitana y coordinador de la Red Interdisciplinaria de Análisis de Resiliencia en Sistemas Socio-Ecológicos (ReSSE) y miembro del Comité Técnico-Académico de la Red de Socioecosistemas y Sustentabilidad (Red-socioecos)

Sandra Elizabeth Álvarez Orozco

Estudiante de Doctorado en Ciencias Sociales y Humanidades en la Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa. Maestra en Derecho Ambiental y Desarrollo Sustentable por la Universidad de Guadalajara y por la Universidad Nacional Autónoma de México, Acatlán. Asesora jurídica del Grupo Pro-Salud Apaxco. Integrante de Carnaval del Maíz.
Correo electrónico: lic_tayel@hotmail.com

Bernardo Bolaños Guerra

Profesor-Investigador del Departamento de Humanidades de la Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa. Licenciado en Derecho por la UNAM. Doctor en Filosofía por la Sorbonne. Miembro del comité de redacción de la revista Isonomía. Sus líneas de investigación actuales son: Migración Inducida por Causas Ambientales y Filosofía de la Ecología. Coordina, con las doctoras Miriam Alfie y Elodie Ségal, el Seminario sobre Ecología Política y Crisis Ambientales, en la UAM-Cuajimalpa.

Correo electrónico: bbolanos@correo.cua.uam.mx

Oscar Adán Castillo Oropeza

Licenciado en Sociología. Maestro en Ciencias Sociales y Humanidades. Autor del artículo “La construcción social y los imaginarios sociopolíticos del desastre: una reflexión sobre las inundaciones en Zona Diamante” (El Cotidiano, UAM-A, núm. 187, septiembre-octubre de 2014, México).

Montserrat Cayuela Gally

Licenciada en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México. Maestra en Geografía por la Universidad Autónoma de Barcelona. Doctorante de Ciencias Sociales y Humanidades en la Universidad Autónoma Metropolitana. Ha realizado diversas publicaciones sobre divulgación científica en WikiMéxico. Es autora de libros de texto para secundaria y bachillerato, con las editoriales Santillana y Castillo-Macmillan. Participó como coautora en la realización de las obras *La huella ambiental de la universidad productivista* y *La concepción de una nueva universidad* (UAM, 2014). Sus líneas de investigación actuales son la Justicia Ambiental y Espacial y la Gestión Urbana del Agua.

Leonardo Díaz Abraham

Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa. Doctor en Ciencia Política por la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Maestro en Cooperación Internacional por el Instituto de Desarrollo y Cooperación de la UCM. Licenciado en Ciencia Política por la UNAM. Sus intereses por la investigación se refieren a temas de Cooperación Internacional, Política Exterior, Gobernanza Multinivel, Medio Ambiente, Derechos Humanos, y, en particular, Acción Internacional de Gobiernos Locales.

Sobre estos temas ha publicado en diversos medios especializados y de divulgación en México, América Latina y Europa. Ha impartido conferencias internacionales en medios académicos, de expertos, técnicos y funcionarios. Miembro del Consejo Consultivo de la Asociación Mexicana de Oficinas de Asuntos Internacionales de los Estados (AMAIE). Profesor Invitado en la Open University (Milton Keynes, Inglaterra) y en la Universidad de Soochow (Taipei, Taiwán). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

Élodie Ségal

Doctora en Sociología por la Universidad de París Este, Francia, Centro Pierre Naville. Profesora-investigadora del DESIN-UAM-Cuajimalpa. Experta por la Secretaría de la Educación Nacional y de la Investigación, Francia, y por el FIPES (instituciones educativas profesionales: innovación y experimentación). Sus especialidades son: Sociología del Trabajo; Modelos Productivos y Educativos; Análisis de Recursos Humanos y de Producción de Conocimientos; Método de Certificación, Evaluación y Remuneración de las Competencias Laborales; Reformas Laborales y Educativas; Crisis en la Economía; Crisis Ambiental y sus Alternativas, Producción de Saberes y Resistencia en un Sistema Financiarizado.

Sazcha Marcelo Olivera Villarroel

Doctor en Economía, con especialidad en Economía de los Recursos Naturales por la UNAM. Maestro en Economía con mención en Política Pública, por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Licenciado en Economía por la Universidad Mayor de San Simón Cochabamba, Bolivia. Profesor-Investigador en la Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia, en el área de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Posdoctorado en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, con el proyecto Efectos y adaptaciones al cambio climático. Profesor Titular "C" en el Departamento de Teoría y Procesos del Diseño de la División de Ciencias de la Comunicación y Diseño en la UAM-Cuajimalpa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I).

Brenda García Parra

Diseñadora Industrial por la Universidad Iberoamericana. Maestra en Diseño Industrial por la UNAM. Su trabajo de investigación se ha desarrollado alrededor del análisis de la relación entre la Sustentabilidad y el Diseño, el Ecodiseño y el Análisis de Ciclo de Vida. Entre sus principales publicaciones

se encuentra la publicación *Ecodiseño. Nueva herramienta para la sustentabilidad* (Editorial Designio, México, 2008). Su trayectoria profesional incluye actividades en la industria automotriz, como Ingeniera de Producto, Diseño Industrial, y como Consultora en el ramo de la Industria Limpia. Actualmente es Profesora-Investigadora Asociada "D" en el Departamento de Teoría y Procesos del Diseño, de la División de Ciencias de la Comunicación y Diseño de la UAM-Cuajimalpa.

Flor Yunuén García Becerra

P. Eng. (Ontario, Canada), Ph.D. (University of Toronto), , M.Biotech. (University of Toronto), I.Q. (UIA) Catedrática CONACYT. Adscrita a la Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa. Trabajó durante tres años como Consultora en CH2M Hill (Canadá), en proyectos de Saneamiento de Aguas Residuales (AR) y Gestión de Activos. Coordinadora Asistente de la Iniciativa de Sustentabilidad para la región de Norteamérica. Voluntaria en World Water Corps® (Water for People). Directora del Comité de Profesionistas Jóvenes. Integrante de la mesa de directiva de Water Environment Association of Ontario. Sus intereses por la investigación incluyen el Saneamiento Sustentable Descentralizado, la Biorremediación de Contaminantes Emergentes enAR, la Valorización de Biomasa de Desecho y Biorrefinería de Coproductos, con especial atención en subproductos del tratamiento de AR, así como la Transferencia de Conocimiento y Transformaciones Sociotecnológicas para el Manejo Sustentable del Agua y Residuos Sólidos Orgánicos.

Juan Antonio Velasco

Ingeniero Químico por el Instituto Tecnológico de Zacatepec, Morelos. Maestro en Ingeniería Química por la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Jefe del Departamento de Investigación y Evaluación de Suelos Contaminados, del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental-Instituto Nacional de Ecología, donde participó en la elaboración de normas oficiales mexicanas y en proyectos de investigación sobre remediación de suelos contaminados. Actualmente estudia un doctorado en la Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa.

Sergio Hernández Jiménez

Licenciado en Ingeniería Bioquímica. Maestro en Ingeniería Química, en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Académico en el Instituto

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa y en la UAM-Cuajimalpa. Ha participado en el diseño, puesta en marcha y operación de varios sistemas de Biofiltración en planta piloto, así como a escala industrial (BiocydMR en la compañía Policyd), para el Tratamiento de Emisiones Gaseosas Contaminantes.

Irmene Ortiz López

Ingeniera Química por la Universidad Veracruzana-Xalapa. Maestra y Doctora en Ingeniería Química por la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Especialización en el Instituto Nacional de Recursos Naturales y Medio Ambiente (NIRE), en Japón. Estancias doctorales en Francia, en la Universidad de Montpellier II y en el Instituto Nacional de la Investigación en Agronomía (INRA), en Marsella. Sus investigaciones se relacionan con la Biotecnología Ambiental para la Eliminación de Compuestos Orgánicos en Aire y Suelos. Profesor Titular en la Universidad Autónoma Metropolitana Cuajimalpa.

Maribel Hernández Guerrero

Doctora en Ingeniería Química por la Universidad de New South Wales (Australia). Profesora-Investigadora en la Universidad Autónoma Metropolitana Cuajimalpa (UAM-C). Licenciada en Ingeniería Biológica. Posgrado en Ciencias Naturales e Ingeniería. Desarrolla proyectos en el área de Materiales, en la línea de Investigación de Membranas Porosas con Estructura de Panal, de Polímeros Sintéticos y Naturales de Residuos Renovables. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I).

Roxana López Simeón

Licenciada en Biología. Maestra en Ciencias Agropecuarias. Doctora en Biotecnología por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Profesora Asociada en el Departamento de Ciencias Naturales de la UAM-Cuajimalpa. Desarrolla proyectos enfocados al Aprovechamiento Integral de Residuos tanto de Algas como de Plantas, para la formación de productos con valor agregado, con posibles usos en la Acuicultura y el cuidado del Medio Ambiente.

Hiram I. Beltrán Conde

Profesor-Investigador del Departamento de Ciencias Naturales (DCNI) de la UAM-Cuajimalpa. Doctor en Ciencias Químicas por el Cinvestav. Ingeniero Químico Industrial por la ESIQIE-IPN. Sus líneas de investigación versan sobre Ingeniería y Diseño de Moléculas y Materiales, Química Verde y Posible Aplicación Biológica e Industrial de Moléculas y Materiales.

Gabriel Vigueras Ramírez

Técnico Académico Titular “E” de tiempo completo, del Departamento de Procesos y Tecnología. Licenciado en Ingeniería Bioquímica Industrial. Posgrado en Biotecnología por la Universidad Autónoma Metropolitana. Estancia de Investigación en el Laboratorio de Ingeniería Bioquímica de la Universidad Estatal de Campinas, en Brasil. Becario en Samsung Electronics. Colaborador en el área de Control de Calidad, en la farmacéutica transnacional Lundbeck, empresa especialista en medicamentos para el sistema nervioso. Actualmente realiza investigación en Biotecnología Ambiental, enfocado en los temas de Biodegradación de Sustratos Gaseosos en Biofiltros Fúngicos, Recuperación de Biomoléculas de Alto Valor Agregado a partir de Procesos de Tratamiento de Contaminantes, y Ablandamiento de Residuos Lignocelulósicos usando Hongos Filamentosos. Encargado del manejo y capacitación de equipos analíticos del Laboratorio de Cromatografía.

José Campos Terán

Profesor-Investigador Titular del Departamento de Procesos y Tecnología, UAM-Cuajimalpa. Licenciado en Ingeniería Química por la Facultad de Química, UNAM. Doctor en Ciencia de Materiales por la Facultad de Ciencias, UNAM. Por su trabajo de tesis doctoral recibió mención honorífica y le fue otorgada la medalla Alfonso Caso. Posdoctorado en el Departamento de Físicoquímica 1 de la Universidad de Lund, Suecia. Su principal línea de investigación es el estudio de Sistemas Coloidales e Interfaciales que Involucren Principalmente Biomoléculas.

Dolores Reyes Duarte

Profesora del Departamento de Procesos y Tecnología en la División de Ciencias Naturales e Ingeniería de la UAM-Cuajimalpa, donde imparte UEA de tipo biológico, laboratorios de Ciencias, Sustentabilidad, Proyectos

Terminales y temas selectos. Coordinadora de la Licenciatura en Ingeniería Biológica. Su línea de investigación se centra en las enzimas como Biocatalizadores: búsqueda de nuevas enzimas con potencial aplicación industrial y desarrollo de nuevos Procesos Enzimáticos. Participa en el Posgrado de Ciencias Naturales e Ingeniería de la UAM-Cuajimalpa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I).

Georgina Sandoval Fabián

Doctor en Biología, Salud y Biotecnología por el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas, en Toulouse, Francia. Investigador Titular en el CIATEJ, donde abrió una nueva línea de investigación en Biocatálisis Industrial, con aplicaciones en los campos de Nutraceuticos, Biocombustibles y Nanomateriales, entre otros. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel II) y de otras asociaciones científicas, nacionales e internacionales. Coordinadora de redes de investigación y desarrollo. Profesora Invitada en la UAM-Cuajimalpa, impartiendo temas selectos en Ingeniería Biológica, así como diversas conferencias y talleres.

Manuel Rodríguez Viqueira

Doctor en Historia de la Arquitectura por la Universidad Politécnica de Wroclaw. Profesor-Investigador Titular en el Departamento de Teoría y Procesos del Diseño de la UAM-Cuajimalpa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Académico de número de la Academia Nacional de Arquitectura. Autor de las obras Introducción a la arquitectura bioclimática (Limusa/ Noriega Editores/ UAM, 2002), Introducción a la arquitectura en México (Limusa, 2009), Arquitectura militar. Génesis y tipología (Limusa, 2010), Corpus urbanístico (UAM/ INAH, 2009). Líneas de investigación: Historia de la arquitectura y Arquitectura bioclimática.

Laura Elisa León Valle

Licenciada en Diseño por la Universidad Autónoma Metropolitana. Maestra en Diseño por la Universidad Anáhuac de la Ciudad de México. Profesora-Investigadora Titular en el Departamento de Procesos y Técnicas del Diseño, CYADS, UAM-Azacapotzalco. Miembro del Colegio de Diseñadores Industriales y Gráficos de México (Codigram). Publicaciones recientes: Una experiencia docente en Diseño de la Comunicación Gráfica (UAM, 2014), La creatividad en el proceso de diseño (UAM, 2015). Sus líneas de investigación

tratan sobre la Historia del Diseño, Diseño Editorial y Creatividad en el Diseño.

Sylvie Le Borgne

Licenciada en Ingeniería Bioquímica y Alimentaria, y en Genética Microbiana, por el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas, Toulouse, Francia. Doctora en Biotecnología y Microbiología por el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas, Toulouse, Francia. Profesora Titular en el Departamento de Procesos y Tecnología de la UAM-Cuajimalpa. Con veinte años de experiencia en el ámbito de la Biotecnología y de la Microbiología Ambiental, es autora de más de treinta artículos, publicados en revistas internacionales, así como de diversos capítulos de libros, y presentaciones en congresos. Responsable de numerosos proyectos de investigación, financiados con fondos tanto públicos como privados. Ha enfocado parte de su investigación en los últimos años, al estudio y caracterización de Levaduras Involucradas en la Producción de Bioetanol.

Guillermo Baquerizo

Ingeniero Químico. Doctor en Medio Ambiente y Recursos Naturales por la Universidad Politécnica de Cataluña. Ha desarrollado su carrera en países como Chile, España, Estados Unidos y Francia, en temas relacionados con la Modelización de Bioprocesos, incluyendo el de Biofiltración de Efluentes Gaseosos, la Digestión Anaerobia de diversos Sustratos, la Producción de Biohidrógeno por Fermentación Oscura, así como la Eliminación de Materia Orgánica y Nutrientes en Aguas Residuales. Autor de diversas publicaciones internacionales. Investigador de Alto Nivel en el Irstea (Instituto Nacional de Investigación en Ciencias y Tecnologías para el Medio Ambiente y la Agricultura), en Francia, como responsable de un proyecto orientado a optimizar el balance energético en plantas de tratamiento de aguas residuales, por medio de la Metanización.

Rosa Luz González Aguirre

Tuvo a su cargo una empresa de desarrollo tecnológico que se distinguió por ser una de las doce más innovadoras del país. Doctora en Ciencias Sociales. Profesora-Investigadora del Departamento de Sociología de la Universidad Autónoma Metropolitana-A. Miembro del Sistema Nacional de

Investigadores (Nivel I). Su trabajo de investigación es sobre Estudios de Innovación Enfocados a la Relación con la Sociedad.

Alejandra García Franco

Profesora en el Departamento de Procesos y Tecnología, División de Ciencias Naturales e Ingeniería de la UAM-C. Coordinadora de la Licenciatura en Ingeniería Biológica. Sus principales líneas de investigación son el Uso de Modelos en los Procesos de Aprendizaje y Enseñanza de las Ciencias, y la Educación Científica Intercultural. Ha colaborado en diversos proyectos de formación de profesores. Miembro de la Red de Fortalecimiento Docente y de la Comisión de Innovación Educativa y Apropiación Tecnológica en la UAM-C. Profesora de las UEA de Química, Química Orgánica y Literacidad. Participa en el Posgrado de Ciencias Naturales e Ingeniería. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I).

Marcia Guadalupe Morales Ibarría

Trabajó en el Instituto Mexicano del Petróleo (2000-2005). Profesora en la UAM-Cuajimalpa, en el Departamento de Procesos y Tecnología. Coordinadora de la Licenciatura en Ingeniería Biológica, y del Posgrado en Ciencias Naturales e Ingeniería. Su interés en investigación versa sobre Tratamiento Biológico de Corrientes Gaseosas Contaminadas, Captura de CO₂ con Microalgas para la Obtención de Biocombustibles o Compuestos de Valor Agregado. Entre las UEA que imparte se encuentran: Introducción al Pensamiento Matemático, Ingeniería de Biorreactores y Procesos de Separación. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I).

Sustentabilidad una visión multidisciplinaria, se terminó de imprimir en la Ciudad de México en Septiembre de 2016, en los talleres de la Imprenta 1200+ ubicada en Andorra 29, Colonia del Carmen Zacahuitzco. La producción editorial estuvo a cargo de Servicios Editoriales y Tecnología Educativa Prometheus S. A. de C. V. En su composición se usaron tipos Arial y Avenir. Se tiraron 300 ejemplares más sobrantes sobre papel bond de 90 kilogramos. La corrección de estilo estuvo a cargo de Eleazar Zavala Ruíz y el diseño editorial y la portada fueron realizadas por Ricardo López Gómez.