

Jorge Adrián Ortiz Moreno, Omar Raúl Masera Cerutti, Alfredo Fernando Fuentes Gutiérrez



LA ECOTECNOLOGÍA EN MÉXICO



LA ECOTECNOLOGÍA EN MÉXICO



© 2014, Unidad de Ecotecnologías del Centro de Investigaciones en Ecosistemas
de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia.

Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta, CP. 58190, Morelia, Michoacán.

© 2014, Imagia Comunicación. Por características tipográficas y diseño editorial.

Facundo 1304, Col. Unidad Modelo, Guadalajara, Jal. CP. 44409.

Colaboradores

Gabriela Arroyo Robles
Tania Arroyo Zambrano
Vanessa Salazar Solís

Diseño de infografías y apoyo gráfico

Gabriela Alonso Martínez

Revisión técnica y de estilo

Manuela Prehn
Omar Xavier Masera Astier

ISBN: 978-607-8389-03-2

Impreso en México

Printed in Mexico

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, parcial o totalmente, ni directa ni indirectamente, ni registrada o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin la autorización previa y expresa por escrito de los editores.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
SECCIÓN 1: CONCEPTUALIZACIÓN DE LA ECOTECNOLOGÍA	9
ANTECEDENTES	9
ORIGEN DEL CONCEPTO DE “ECOTECNOLOGÍA”: APROXIMACIONES DESDE LAS SOCIEDADES INDUSTRIALES	10
APROXIMACIONES ALTERNATIVAS Y TECNOLOGÍAS APROPIADAS	12
UNA PROPUESTA PARA DEFINIR LA ECOTECNOLOGÍA	16
ECOTECNOLOGÍAS PARA LA SATISFACCIÓN DE NECESIDADES HUMANAS BÁSICAS EN ÁREAS RURALES ..	17
SECCIÓN 2: PANORAMA GENERAL DE LA ECOTECNOLOGÍA EN MÉXICO	21
CARENCIAS EN LA SATISFACCIÓN DE LAS NECESIDADES BÁSICAS EN MÉXICO	21
Pobreza y desigualdad en México	21
Carencias en la satisfacción de necesidades básicas y su distribución geográfica	23
ECOTECNOLOGÍAS PARA LA SATISFACCIÓN DE NECESIDADES BÁSICAS RURALES EN MÉXICO: UNA PROPUESTA PARA EL SECTOR DOMÉSTICO	25
DESCRIPCIÓN DE ACTORES, ECOTECNIAS E INICIATIVAS	29
Energía	29
Cocción de Alimentos	29
<i>Estufas de Leña Mejoradas</i>	29
<i>Cocinas solares</i>	34
Conservación de Alimentos	37
<i>Deshidratadores Solares</i>	37
Generación de Electricidad	41
<i>Aerogeneradores</i>	41
<i>Paneles Fotovoltaicos</i>	43
<i>Plantas hidroeléctricas de pequeña escala</i>	49
Iluminación	51
<i>Lámparas Eficientes</i>	51
Calentamiento de Agua	54
<i>Calentadores Solares de Agua</i>	54
Agua	59
Abastecimiento y purificación de agua	59
<i>Sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia</i>	59
<i>Purificación de Agua</i>	62

Manejo de Residuos	64
Saneamiento con Arrastre Hidráulico	64
<i>Biofiltros</i>	64
<i>Humedales Artificiales</i>	66
<i>Sistemas Sépticos</i>	68
Saneamiento Seco	71
<i>Sanitarios Ecológicos Secos</i>	71
<i>Mingitorios Secos</i>	77
Manejo de Residuos Pecuarios	78
<i>Biodigestores</i>	78
Alimentación	82
Producción de Alimentos a Pequeña Escala	82
<i>Huertos Familiares</i>	82
Control de Plagas	85
<i>Control Biológico</i>	85
Fertilización	86
<i>Biofertilizantes</i>	86
Alternativas, Redes y Vías de Comercialización	88
Vivienda	89
Diseño y Construcción de la Vivienda	89
<i>Principios de Diseño</i>	89
<i>Materiales de Construcción</i>	89
Implementación de Ecotecnias en la Vivienda	92
Experiencias Integrales	93
SECCIÓN 3: CONCLUSIONES	99
PRINCIPALES LECCIONES DE LAS EXPERIENCIAS ECOTECNOLÓGICAS REVISADAS	99
Desarrollo de la Ecotecnología	101
Validación de la Ecotecnología	102
Difusión de la Ecotecnología	102
Monitoreo de la Ecotecnología	103
OPORTUNIDADES Y RETOS PARA LA ECOTECNOLOGÍA EN MÉXICO	104
Bibliografía	109
Anexo 1. Distribución geográfica de las carencias de satisfactores básicos en México	117
Anexo 2. Directorio de organizaciones e instituciones	120
Anexo 3. Acrónimos	123
Anexo 4: Índice de tablas	124
Anexo 5: Índice de figuras	125

INTRODUCCIÓN

“Son cosas chiquitas. No acaban con la pobreza, no nos sacan del subdesarrollo, ni socializan los medios de producción y de cambio... Pero quizá desencadenen la alegría de hacer y la traduzcan en actos”

Eduardo Galeano

Hemos iniciado el siglo XXI con avances increíbles en lo científico y lo tecnológico, con expresiones artísticas y humanísticas que nos dejan sin aliento, rodeados de paisajes naturales y culturales que nos maravillan por su belleza y diversidad, en fin, con un mundo que presenta enormes posibilidades para desarrollar las capacidades humanas y convivir en armonía con el ambiente. Paradójicamente, iniciamos también este nuevo siglo sin saldar, y en muchos casos habiendo empeorado, una serie de graves cuentas pendientes en lo social, en lo económico y en lo ambiental; para muchos pensadores estamos ya ante el quiebre del sistema socio-económico cuya expresión más descarnada es el neoliberalismo globalizado y el modelo de aprovechamiento de recursos naturales no sustentable heredado de la revolución industrial y que hoy simplemente no da más. Una breve revisión de algunos de los aspectos o “síndromes” del modelo actual quizás ayude a ilustrar esto.

Actualmente la Tierra alberga a más de siete mil millones de habitantes (Kunzig, 2011; UNFPA, 2011) y para la mitad del siglo XXI la cifra podría ascender a los nueve mil millones (Cohen, 2003); el sistema de desarrollo actual ha mostrado su incapacidad de satisfacer las necesidades humanas sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras. Aproximadamente el 60% de los servicios ecosistémicos examinados en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (agua dulce, calidad del aire, regulación microclimática, entre otros) se encuentran degradados o han sido aprovechados insustentablemente (MEA, 2005). La pérdida de biodiversidad, las alteraciones al ciclo global del nitrógeno y el cambio climático ya han rebasado los umbrales críticos que el sistema terrestre puede amortiguar (Rockström *et al*, 2009) y se están generando y acelerando transformaciones sustanciales en los ecosistemas terrestres (Vitousek *et al*, 1997).

También la desigualdad social ha alcanzado niveles pasmosos: las 85 personas más ricas del mundo poseen tanto como la mitad más pobre de la población mundial (3,500 millones de personas) (OXFAM, 2013). La injusticia social y ambiental ha aumentado entre países y también al interior de los mismos; la insatisfacción de necesidades básicas continúa siendo una cotidianidad para el Sur Global.¹ Actualmente alrededor del 18% de la población mundial no tiene acceso a la electricidad (UN, 2012), el 43% no cuenta con tecnologías adecuadas para la cocción de alimentos (*ibid*); en áreas rurales, más de la mitad de la población no tiene acceso a tecnologías adecuadas de saneamiento (UN, 2011) y aproximadamente el 22% carece de fuentes adecuadas de agua potable (véase **Fig. 1**) (*ibid*); los pequeños productores rurales y los agricultores de subsistencia son los más vulnerables a impactos ambientales e impredecibles (Morton, 2007) y se prevé que el cambio climático global impactará más gravemente a los países en vías de desarrollo (IPCC, 2007; Mendelsohn *et al*, 2006).

Frente a lo desesperado de esta situación se han alzado muchos movimientos que buscan, como Paulo Freire dijera, “otra forma de pronunciar el mundo”. En lo educativo, lo organizativo, lo económico, lo artístico, lo cultural, miles y miles de voces y manos están poniendo en práctica sueños de un mundo mejor. Y el papel de la tecnología en todo esto, aunque muchas veces ignorado, es central.

La tecnología se ha convertido en la bisagra por excelencia entre el hombre y el mundo natural; la época actual ya es considerada por algunos autores como una nueva era geológica: el “antropoceno”, debido al impacto que el hombre ha tenido en el planeta. En el mismo sentido, Linares (2010) hace

¹ El Norte Global y el Sur Global aluden a una diferenciación política-económica basada en la riqueza económica, gobernabilidad democrática, paz, estabilidad y progreso humano (Odeh, 2010). El Norte Global alberga apenas a un cuarto de la población mundial, sin embargo, controla el 90% de las industrias manufactureras (Steger, 2009; Odeh, 2010). Los países del Sur Global, en cambio, enfrentan inestabilidad política, economías desarticuladas, pobreza y pocas posibilidades de acceder a tecnologías mejoradas (Mimiko, 2012).

referencia al "tecnoceno", es cada vez más difícil imaginar una circunstancia o actividad en la que nuestra relación con el medio, o incluso con otros seres humanos, no involucre a la tecnología. Dependemos de la técnica para nuestra sobrevivencia diaria, para nuestra convivencia con amigos, para nuestras actividades laborales y cada vez más también para nuestros ratos de ocio y placer. Tal es esta dependencia que la noción de sistemas socio-ecológicos está siendo reemplazada por la de sistemas socio-tecnológicos.

Sin embargo, hasta ahora han habido relativamente pocos análisis que examinen a fondo las implicaciones filosóficas o éticas de la tecnología en el mundo, o que exploren la posibilidad de generar modelos tecnológicos alternativos. De hecho, la noción de tecnología predominante en esta sociedad lleva implícita la asunción de que ésta tiene una dinámica independiente de su contexto social, determinada únicamente por el devenir de la ciencia (la famosa "neutralidad de la tecnología"). Es decir, que el desarrollo tecnológico es independiente de la sociedad misma y a ésta solo le corresponde decidir cómo aplicar lo que la tecnología pone a su disposición y, aunque la sociedad puede aminorar los impactos negativos de la tecnología, no puede cambiar de cuajo su rumbo.

Los estudios sociales de la ciencia y la tecnología han mostrado las limitaciones de este enfoque "neutralista". Se ha demostrado que mucha de la tecnología que más condiciona nuestra existencia, como la que está asociada a los medicamentos, a la provisión de energía o a la informática, forma parte de grandes y complejos sistemas tecno-científicos en los que la mayor parte del financiamiento proviene del sector privado, con lo que la maximización de las ganancias económicas prevalece sobre la búsqueda del conocimiento o del desarrollo de aplicaciones por el bien de la humanidad, y que la tecnología no tiene un carácter pasivo, sino que tiene lo que Feenberg (2003) llama ambivalencia tecnológica: una vez que las tecnologías se instalan en la sociedad y se difunden a gran escala, tienen la capacidad de generar grandes inercias que catalizan nuevos procesos y dinámicas no previstas originalmente (el internet es quizás el caso más emblemático de esto, pero ocurrió con el automóvil, la aviación, la generación de energía con combustibles fósiles y muchas otras tecnologías). En pocas palabras, la tecnología no es un vehículo de progreso social *per sé*, ni un instrumento que inherentemente maximiza las ca-

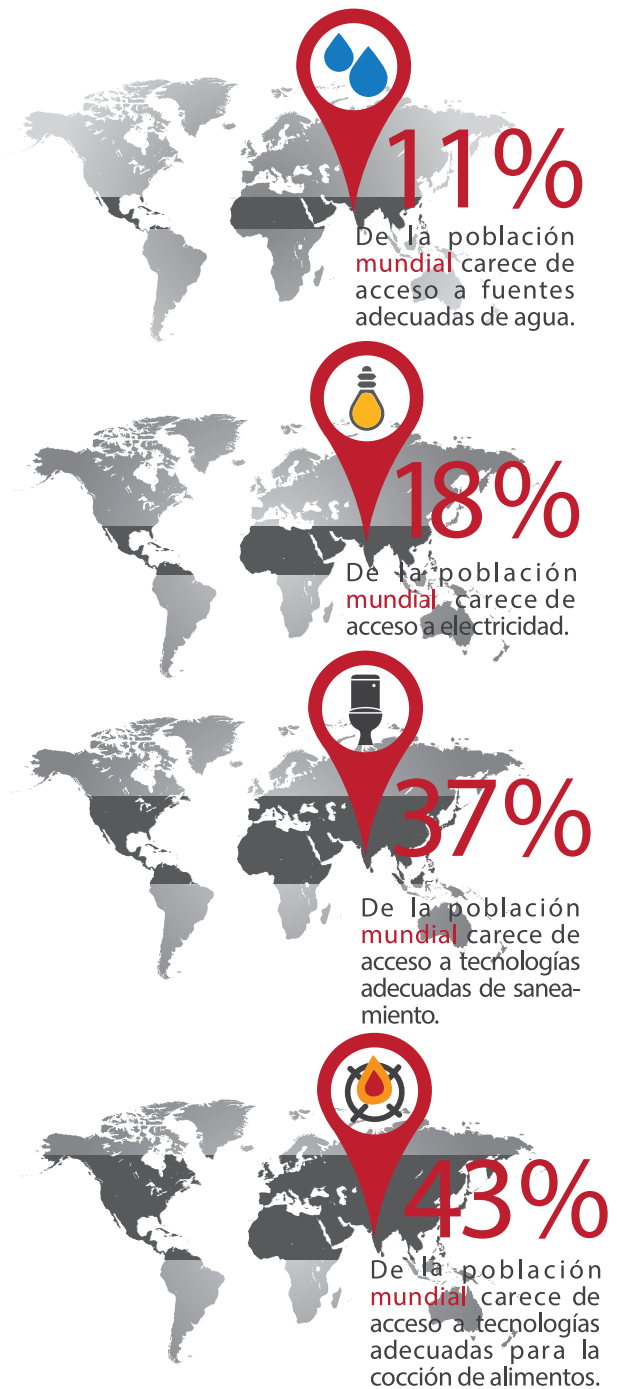


Figura 1. Niveles globales de carencia de cuatro necesidades básicas.

Fuente: UN (2011; 2012).

pacidades humanas; contrariamente, en muchos casos ha favorecido el trabajo repetitivo y sin sentido y ha contribuido a la devastación y explotación del ambiente y del hombre mismo.

Es por ello que consideramos que la lucha por un modelo de desarrollo ambiental y socialmente más sustentable debe forzosamente incluir un proyecto de desarrollo tecnológico que reformule la manera en que la tecnología se diseña, crea, disemina, adopta e integra a largo plazo en la sociedad; un modelo que contribuya a la reducción de la pobreza y vulnerabilidad de la población en las áreas rurales, olvidadas por el modelo tecnológico actual a pesar de tener las más agudas carencias en necesidades básicas. Y las *ecotecnologías* buscan hacer esto.

El modelo ecotecnológico engloba y da continuidad a movimientos anteriores como las *tecnologías apropiadas*, las *tecnologías limpias* y las *innovaciones de base social* (*grassroots innovations*). Como veremos posteriormente en este volumen, consideramos que las ecotecnologías deberían cumplir ciertos criterios ambientales, sociales y económicos, tales como:

- Ser accesibles, especialmente para los sectores más pobres de la sociedad
- Estar enfocadas a las necesidades y contextos locales
- Ser amigables con el ambiente, promoviendo el uso eficiente de recursos, el reciclado y el re-uso de los productos
- Promover el uso de recursos locales y su control
- Generar empleo en las economías regionales, especialmente en las áreas rurales, de las que la población ha tenido que migrar por falta de oportunidades
- Ser producidas preferentemente a pequeña escala y de forma descentralizada
- Ser diseñadas, adaptadas y difundidas mediante procesos participativos, con diálogo entre los saberes locales y los científicos (esto es clave en el contexto campesino e indígena, donde las poblaciones locales cuentan con acervos muy valiosos de conocimiento)

El presente trabajo es un primer diagnóstico de las ecotecnologías rurales en México. Se han intentado documentar las experiencias y proyectos sobre ecotecnología de forma integral e identificar los principales retos y oportunidades que enfrentan este tipo de proyectos en México, abordando las

alternativas para el aprovechamiento de la energía, el manejo de agua y de residuos, la producción de alimentos y la construcción de vivienda. Como existen muy pocas evaluaciones sobre la evolución de las iniciativas ecotecnológicas, y ningún documento reciente sobre su estado actual, esperamos que el lector encuentre en esta obra información útil y actualizada que permita mejorar nuestro entendimiento de este sector.

El libro es resultado de un gran esfuerzo colectivo: tres años en los que sus autores y un equipo amplio de estudiantes de apoyo, con su entusiasmo, creatividad y dedicación, le dieron forma y fin. La Unidad de Ecotecnologías del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM, creada en el año 2009 con el objetivo de impulsar un proyecto ecotecnológico integral, y los Encuentros Nacionales de Ecotecnias que ésta organizó en Morelia en el año 2012 y 2013, aportaron mucho del conocimiento y experiencias plasmadas en este volumen y éste, a su vez, es uno de los productos con los que pretende avanzar en la consecución de su objetivo.

Esta primera edición del libro, como todo esfuerzo de revisión y más aún dada la diversidad de nuestro país y su gran número de experiencias ecotecnológicas, sobre todo a nivel local, es inevitablemente incompleta y subjetiva. Somos conscientes de no haber cubierto exhaustivamente el tema; de antemano ofrecemos disculpas a los lectores por cualquier omisión o inexactitud y agradecemos cualquier comentario o sugerencia que nos ayude a mejorar el trabajo. Decidimos, además, dirigir la atención de esta investigación a experiencias rurales y a las cinco necesidades básicas del sector doméstico (energía, agua, manejo de residuos, alimentación y vivienda), con lo cual se excluyeron temas importantes como las ecotecnologías urbanas, la movilidad sustentable o el análisis de ecotecnologías para usos productivos, cada uno de los cuales requeriría un volumen propio para ser cubierto. Tampoco incluimos información sobre costos u otros aspectos económicos ni sobre la operación de las ecotecnologías dada la dificultad de conseguir datos precisos, actualizados y comparables, de igual forma, se excluyó el análisis detallado de los impactos o beneficios ambientales de las tecnologías. Finalmente, para facilitar la comprensión del libro a lectores no especialistas, hemos omitido detalles técnicos del diseño o el funcionamiento de cada ecotecnología y en su lugar remitimos al lector a documentos técnicos apropiados.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación no hubiera sido posible sin el apoyo financiero del Programa de Investigación en Cambio Climático (PINCC) y la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM. Agradecemos también el apoyo brindado por los fondos SEDESOL-CONACYT y los fondos del programa PAPIIT-UNAM. Quisiéramos hacer un reconocimiento especial a todas las personas que participaron directa e indirectamente para hacer realidad este esfuerzo: a Víctor Berrueta, Minerva Molina, Carmen Patricio y Evaristo Herrera del Grupo Interdisciplinario de Tecnología Apropriada (GIRA, A.C.), con quienes se co-organizaron los Encuentros Nacionales de Ecotecnias y tenemos un programa de colaboración a largo plazo; a Ana Karen Castrejón por la coordinación de las Ferias de Ecotecnias en el marco de los Encuentros Nacionales y a Diana Díaz de León y Eréndira Vallarta por su apoyo en el diseño gráfico; a los estudiantes Adriana Salinas, Néstor Olán, Gonzalo Álvarez, Andrés Piña, Mariana Soto, Fermín Morales y Donovan Covarrubias por su valioso apoyo en los dos Encuentros Nacionales de Ecotecnias, así como a Marco Antonio Rosas, Nadia Merkel, Nina Küng, Susana D'Acosta, Karen Chang y Carlos Eduardo Corona por sus importantes contribuciones en secciones específicas del libro; a Juan Pablo Rodríguez e Ilse Ruiz por sus comentarios puntuales para la sección de estufas de leña; y a Carlos González, John Larsen y Miguel Nájera, del Laboratorio de Agroecología del CIEco, por las revisiones y apoyo con la sección de alimentación y por su participación en los talleres prácticos de los Encuentros Nacionales de Ecotecnias.

Agradecemos también a los más de 500 participantes de los Encuentros Nacionales de Ecotecnias y a sus organizaciones respectivas, especialmente a los ponentes, por la riqueza y calidad de las discusiones y el material presentado en estos foros. Sin ellos este esfuerzo no hubiera sido posible. Queremos hacer una mención especial a Margarita Barney de GRUPEDSAC, a Julio Vargas de BioRenaces, a Alex Eaton de Sistema Biobolsa, a Enrique Lomnitz de Isla Urbana, a Guillermo Bonfil, Marisela Yniesta e Ignacio Gómez del FpCVB, a Marcos Sánchez de Eco-construtores de Oaxaca, a Ricardo Aguilar de la Facultad de Biología-UMSNH y el Laboratorio de Agroecología del CIEco, a Flor Cassassuce de Grupo EOZ, a Alejandra Martínez del Proyecto Mesita Azul y Bernardo Sosa de la Universidad Indígena Intercultural de Michoacán, por brindarnos información valiosa para el análisis y por compartir gustosamente el rico material gráfico que da vida y color a este libro.

SECCIÓN 1: CONCEPTUALIZACIÓN DE LA ECOTECNOLOGÍA

ANTECEDENTES

Desde su origen en la Revolución Industrial el paradigma tecnológico dominante se ha caracterizado por dar prioridad a la producción en masa, centralizada y estandarizada, hacer un uso intensivo de energías fósiles y materias primas y generar cuantiosas cantidades de residuos que se desechan al ambiente (Gianetti *et al*, 2004). A pesar de ello, el reconocimiento formal de los impactos ambientales de la tecnología moderna no ocurre sino hasta la segunda mitad del siglo XX. La publicación del libro “La Primavera Silenciosa” de Rachel Carson en 1962, sobre las consecuencias ambientales del uso de herbicidas, marcó el comienzo de lo que se convertiría en lo que Mol (1997) identifica como la primera ola del ambientalismo moderno: un movimiento que por primera vez en casi dos siglos hacía una protesta y un llamado para salvaguardar a la naturaleza de la depredación voraz e inequitativa de los recursos naturales, impuesta bajo el modelo vigente de desarrollo industrial y tecnológico.

Hacia principios de los 70s el ambientalismo —y con él la crítica al modelo tecnológico dominante— tomó fuerza en cumbres internacionales y pronto se extendió al resto de la sociedad, en lo que se conoce como la segunda ola de dicho movimiento. Esto coincidió con el reporte del Club de Roma (Meadows, 1972), donde se analizaban los límites planetarios al crecimiento económico y poblacional, las críticas que empezaban a hacerse al modelo de desarrollo capitalista por su incapacidad de resolver la persistente desigualdad entre naciones (Giddens, 1999) y la evidencia del deterioro de las condiciones ambientales en algunos sitios del planeta (Sotolongo y Delgado, 2006). Los reclamos se intensificaron con la crisis petrolera de 1973, el crecimiento del desempleo, la expansión de la educación superior y la búsqueda de estilos de vida ecológicos emprendida por algunos grupos sociales (Smith, 2005). En los debates que siguieron, quienes sostenían que todavía era posible conciliar el crecimiento económico con la conservación de la naturaleza se enfrentaron a quienes planteaban modelos económicos alternativos. Aquí,

el debate sobre la tecnología jugó un papel central y dio lugar a reflexiones teóricas y propuestas prácticas. Una de ellas fue el concepto de *ecodesarrollo*, planteado por primera vez en la Conferencia de Estocolmo de 1972, que buscaba combinar la conservación de los recursos naturales con la distribución equitativa de los bienes, el desarrollo regional, la satisfacción de las necesidades básicas de las mayorías pobres y la combinación de la tecnología moderna con las técnicas y saberes tradicionales, ecológicamente adecuados a los contextos locales (Rabey, 1987).

Con este antecedente, en la década de los 80s se afianza una tercera ola del ambientalismo, que tiene su punto culminante en 1987 con la publicación por parte de las Naciones Unidas del Informe Brundtland (titulado “Nuestro Futuro Común”), en el que se populariza el concepto de *desarrollo sustentable*, definido en este informe como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (WCDE, 1987).

El desarrollo sustentable ha tenido muchas vertientes y facetas; en su esencia ha significado un intento por conciliar —sin mayor éxito— el desarrollo económico con una serie de metas sociales —como la reducción de la pobreza— y con el equilibrio ecológico del planeta. En los últimos 20 años una parte importante de las políticas dirigidas al desarrollo sustentable se ha enfocado en replantear el modelo tecnológico vigente. Específicamente, se ha promovido una transición tecnológica orientada a sustituir la contaminante tecnología industrial por nuevas alternativas ecológicamente amigables y basadas en el uso de fuentes renovables de energía. Aunado a lo anterior, y ante la agudización de la crisis ambiental y la desigualdad social, han emergido diferentes movimientos sociales, culturales, políticos e intelectuales que buscan modelos de desarrollo más justos y equitativos, así como alternativas tecnológicas —que englobaremos en el concepto de *ecotecnologías*— que potencien este cambio social y sean menos nocivas para el ambiente.

ORIGEN DEL CONCEPTO “ECOTECNOLOGÍA”: APROXIMACIONES DESDE LAS SOCIEDADES INDUSTRIALES

Las primeras menciones del término *ecotecnología* en la bibliografía científica se remontan a la década de 1960, cuando Howard T. Odum, pionero del estudio de la ecología de ecosistemas, acuñó el término *ingeniería ecológica* o *ecotecnología* para referirse a lo que más tarde Barret (1999) definiría como el “diseño, construcción, operación y gestión (es decir, la ingeniería) de estructuras paisajísticas/acuáticas y sus comunidades de plantas y animales asociadas (es decir, ecosistemas) para beneficiar a la humanidad y, a menudo, a la naturaleza”.

Posteriormente, el concepto de *ecotecnología* se asoció a enfoques teóricos como la *ecología industrial*, las *tecnologías limpias* y la *modernización ecológica*. La *ecología industrial* es una escuela que estudia a los sistemas industriales desde un punto de vista ecosistémico, en palabras de Lowe (1993) “el núcleo de la *ecología industrial* es simplemente reconocer que los servicios de manufactura y servicio son en realidad sistemas naturales, íntimamente conectados a sus ecosistemas locales y regionales y a la biósfera global, [...] su fin último [...] es aproximar los sistemas industriales tanto como se pueda a un ciclo cerrado, con un reciclaje casi completo de todos los materiales”. Las *tecnologías limpias* son tecnologías cuya manufactura hace un uso eficiente de materias primas y energía, reciclan o re-usan sus residuos y maximizan la calidad final de los productos (Gianetti *et al.*, 2004). En este sentido, Moser (1996) afirmó que las *ecotecnologías* sustituirían la alta tecnología (“*high-tech*”) derrochadora de energía y altamente contaminante y que las *tecnologías limpias* serían opciones a mediano plazo que harían posible esta transición (Ver Fig. 1.1).

El movimiento de la *modernización ecológica* surgió en los ochentas en Europa; dos de sus planteamientos centrales son que la tecnología es clave para superar la crisis ecológica y que el crecimiento económico y el desarrollo industrial no solo son compatibles con la ecología, sino que pueden beneficiarse de esta (Murphy, 2000; Mol, 2000). Este planteamiento sirvió para sustentar la afirmación que se hacía en el Informe Brutland, que cuidar la calidad del ambiente es compatible con el desarrollo económico y que la ciencia y la tecnología permitirán la transición hacia esta “*ecologización de la economía*” (Mol,

1997). Igual que la *ecología industrial*, la *modernización ecológica* prescribió la eliminación progresiva de la tecnología convencional a cambio de soluciones *ecotecnológicas* innovadoras y limpias en los sectores productivos. Se impulsó, por ejemplo, la utilización de hidrógeno como combustible y la producción de energía mediante sistemas solares y eólicos (Rose, 2003). Otro aspecto importante de la *modernización ecológica* es que tomó en consideración a los consumidores, es decir, el sector social. Al orientar su perspectiva al usuario de la tecnología, integró a la política pública y al mercado como herramientas para la difusión de tecnologías eficientes en los países desarrollados (Massa y Andersen, 2000).

Recientemente el entorno socio-cultural de los usuarios ha adquirido importancia en el replanteamiento del paradigma tecnológico. Uchida (2005) describe la *ecotecnología* dentro de un marco conceptual de pensamiento en el que es imprescindible tomar en cuenta la vida del usuario tecnológico, su individualidad y sus juicios de valor. En su propuesta expone que la tecnología no es universalmente adaptable y por lo tanto necesita diseñarse en función de contextos humanos en donde la subjetividad está presente. De esta manera, refuerza la idea de que para introducir una *ecotecnología* a un contexto específico es necesario generar mecanismos de aceptación que tomen en cuenta la localidad, la cultura y las formas de vivir de los usuarios.

En síntesis, en los países desarrollados una gran parte de la discusión sobre *ecotecnologías* ha hecho énfasis en su utilización como medio para disminuir el impacto ambiental del crecimiento económico, e incluso en hacerlo compatible con el entorno ecológico, siguiendo los lineamientos del desarrollo sustentable. Asimismo, aunque la conceptualización original de la *ecotecnología* se centró en el manejo de ecosistemas, la visión sistémica fue incorporada a la industria y posteriormente la atención saltó del sector productivo al sector de consumo y los usuarios de la tecnología. El discurso *ecotecnológico* se ha beneficiado así de distintas aportaciones conceptuales y ha evolucionado desde su surgimiento, en un área del conocimiento exacta, predictiva y cuantitativa, hacia una noción que involucra criterios sociales y económicos.

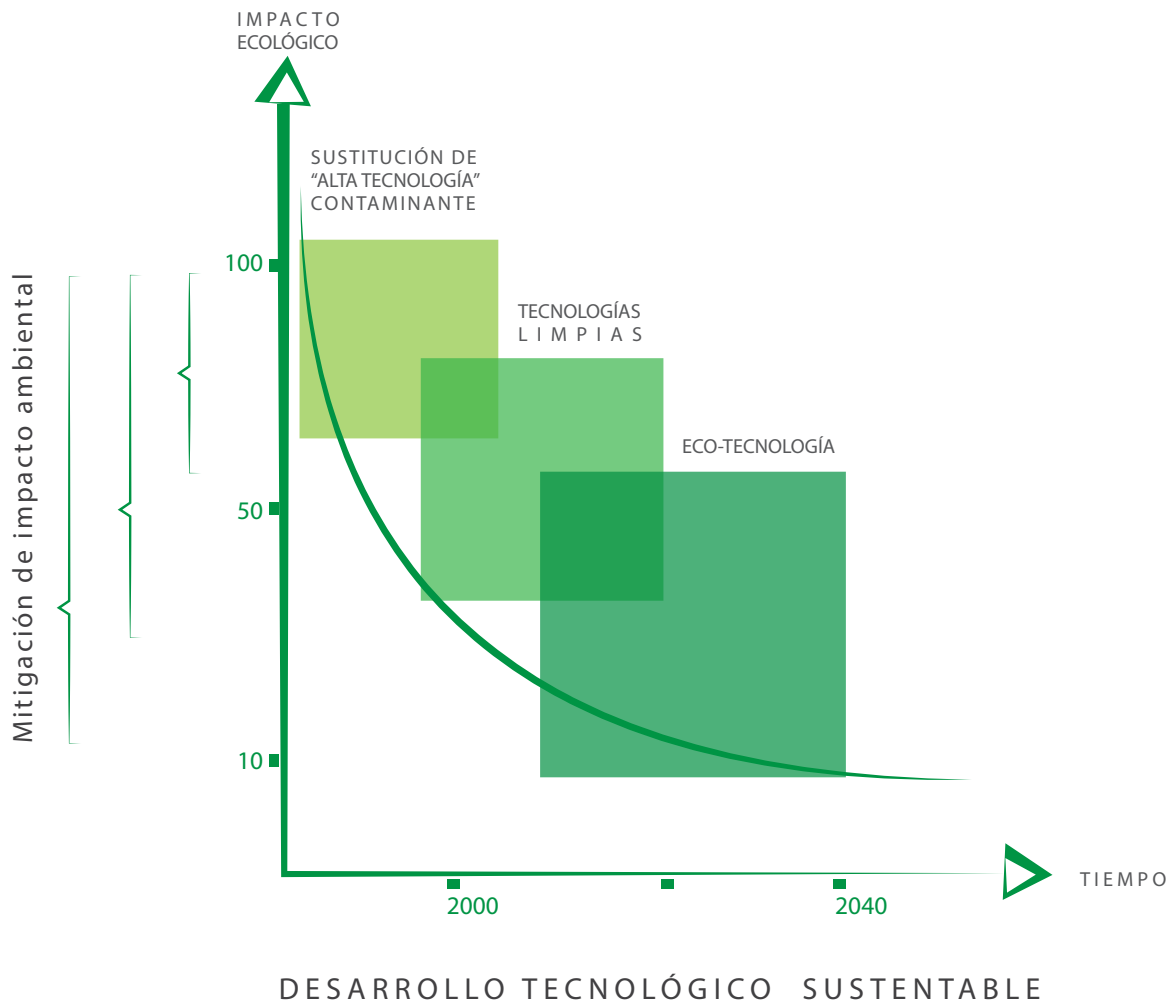


Figura 1.1 Transición tecnológica propuesta por Moser (1996).
Fuente: modificado de Moser (1996).

APROXIMACIONES ALTERNATIVAS Y TECNOLOGÍAS APROPIADAS

Paralelamente a las corrientes descritas en la sección anterior surgieron otros movimientos y aproximaciones teóricas que han promovido estilos de vida alternativos, tecnologías descentralizadas y aplicaciones a pequeña escala, y que tuvieron impacto importante en el Sur Global. En este último, las *necesidades humanas básicas*¹ de gran parte de la población no están resueltas, y por lo tanto la discusión sobre modelos tecnológicos alternativos se enfocó en generar oportunidades económicas locales y alternativas que permitieran el acceso a la alimentación, energía, vivienda, abasto de agua, saneamiento y cuidado de la salud, y a eliminar la pobreza sin comprometer las condiciones ambientales (Rahman y Wahid, 2013).

A la corriente más representativa de estos otros enfoques, que surgió a mediados de la década de 1960 con fuerte influencia de los escritos de Mahatma Gandhi, se le conoció como *tecnologías alternativas o tecnologías apropiadas*. Uno de los autores emblemáticos de esta aproximación fue Ernst Schumacher, quien en 1973 publicó el libro “Lo Pequeño es Hermoso”, en el que propuso replantear el modelo tecnológico vigente para maximizar el bienestar minimizando el consumo de recursos. A diferencia de la modernización ecológica, que figuró a los usuarios de la tecnología meramente como consumidores, el abordaje de la tecnología apropiada involucró aspectos sociales, culturales, éticos y ambientales ligados a la satisfacción de necesidades básicas. Específicamente, Schumacher (1973) partió de una crítica al sistema económico, caracterizándolo como insostenible, y señaló las debilidades de la tecnología convencional (centralizada, dependiente de combustibles fósiles, altamente contaminante y costosa), su fracaso para adaptarse a escalas pequeñas de producción y fuentes locales de materiales, el uso ineficiente y no cualificado de la mano de obra, así como la importación y selección de maquinaria y tecnología inadecuada a las condiciones socio-culturales locales (Teitel, 1984; Basu y Weil, 1998).

De acuerdo con Schumacher (1973), Masera (1986) y Basu y Well (1998), las tecnologías apropiadas fomentan lo siguiente:

- La satisfacción de necesidades humanas básicas
- La autosuficiencia endógena mediante la participación social
- La producción a pequeña escala
- El bajo costo de producción y mantenimiento
- El empoderamiento de los usuarios
- La descentralización de la tecnología
- La armonía con el medio ambiente y el trabajo creativo²

La **Fig. 1.2** muestra dos ejemplos de tecnologías apropiadas y la **Fig. 1.3** ilustra gráficamente sus características principales. Las tecnologías alternativas fueron parte de una crítica radical y contracultural a los impactos ambientales de la sociedad industrial y a sus tendencias tecnocráticas, centralizadas y destructivas (Smith, 2005). Se propusieron como opciones tecnológicas para el desarrollo del Sur Global (y específicamente de las zonas rurales y de las zonas pobres) sin que este tuviera que importar el modelo tecnológico de los países desarrollados (Thomas, 2009).³

Las iniciativas relacionadas con las tecnologías apropiadas perdieron fuerza con el auge del neoliberalismo a partir de la década de los 80, sin embargo, desencadenaron otros movimientos como el desarrollo de innovaciones locales basadas en procesos de inclusión social⁴, visión que permeó en las

¹ El concepto de necesidades humanas básicas agrupa las mínimas necesidades humanas cuya satisfacción permite garantizar el bienestar físico a largo plazo. Para más detalles ver sección 2.1

² Cabe destacar que la crítica social hacia la tecnología industrial proviene del siglo XIX. Para Karl Marx, por ejemplo, la tecnología era una forma de control social de la burguesía hacia el proletariado. Los movimientos ambientalistas retomaron la crítica añadiendo una preocupación determinante al reconocer una crisis ecológica global.

³ Schumacher (1973) también introdujo el concepto de *tecnologías intermedias*, concebidas como tecnologías “a medio camino” entre la tecnología tradicional y la tecnología moderna, que a través de industrias pequeñas y capacidades técnicas reducidas fueran capaces de resolver problemas locales utilizando las materias primas y recursos humanos disponibles (Jéquier y Blanc, 1983 en Arriola 1989).

⁴ La inclusión social hace referencia al grado en el que los individuos, familias y comunidades tienen la posibilidad de participar en sociedad y tomar control de sus propios destinos. Se considera una variedad de factores relacionados con el acceso a recursos económicos, empleo, educación, salud, vivienda, recreación, cultura e integración social (Warschauer, 2004). La inclusión social representa un movimiento surgido para hacer frente a la discriminación y a las desigualdades sociales que marginan a determinados grupos en situaciones de desventaja y vulnerabilidad, limitando sus posibilidades de desarrollo. Grupos sociales



Los Sanitarios Ecológicos Secos han sido difundidos internacionalmente como una Tecnología Apropriada para comunidades rurales. Son una alternativa altamente viable para la disposición y manejo de residuos humanos en sitios donde el agua es escasa o la implementación de sistemas sanitarios convencionales es inviable. Su uso correcto dignifica al usuario y resuelve una necesidad básica de salubridad doméstica.



Las estufas de leña mejoradas se consideran una Tecnología Apropriada al contexto rural de los países en desarrollo. En buena parte de estas zonas el principal combustible para la cocción de los alimentos es la leña que se extrae de los ecosistemas aledaños a la vivienda o comunidad. El gas LP, que es el combustible convencional en las ciudades, generalmente es económicamente inaccesible para la mayoría de la población. Además, es un recurso que tradicionalmente ha estado fuera del contexto cultural de dichas localidades.

Figura 1.2 Estufa de leña mejorada y sanitario ecológico seco. Estas tecnologías han sido ampliamente difundidas como tecnologías apropiadas en zonas rurales de diversos países en desarrollo.

Fuente: Elaboración propia con fotografías de Helps International y Eduardo Portillo (duduportillo.blogspot.mx).

actualmente nombradas innovaciones de base social (*grassroots innovations*). Las innovaciones de base son tecnologías diseñadas mediante procesos de innovación inclusivos y colaborativos para atender necesidades locales específicas. A diferencia de las tecnologías apropiadas, estos movimientos no se limitan a actividades primarias o entornos rurales, sino que se involucran indistintamente en el manejo de recursos, manufactura y servicios, en contextos rurales y urbanos (Smith *et al*, 2014). Asimismo, se consideran opciones que pueden constituir soluciones efectivas

con discapacidades, aislados, provenientes de zonas rurales, indígenas o en condiciones de pobreza son vulnerables a ser excluidos socialmente (Blanco, 2006).

de transformación y empoderamiento social a nivel comunitario (*ibid*). La **Fig. 1.4** resume los principales movimientos tecnológicos alternativos desde la década de los 60 hasta el presente.

Cabe destacar que los movimientos alternativos de replanteamiento tecnológico, desde su surgimiento hasta la actualidad, han involucrado una multiplicidad de actores sociales para su desarrollo: inversionistas, técnicos, políticos, académicos, fabricantes, comunidades locales, instituciones públicas de Investigación y Desarrollo (I+D), empresas públicas y en menor medida privadas, organizaciones no gubernamentales (ONG's), cooperativas populares y activistas (Smith, 2005; Thomas, 2009; Smith *et al*, 2014).

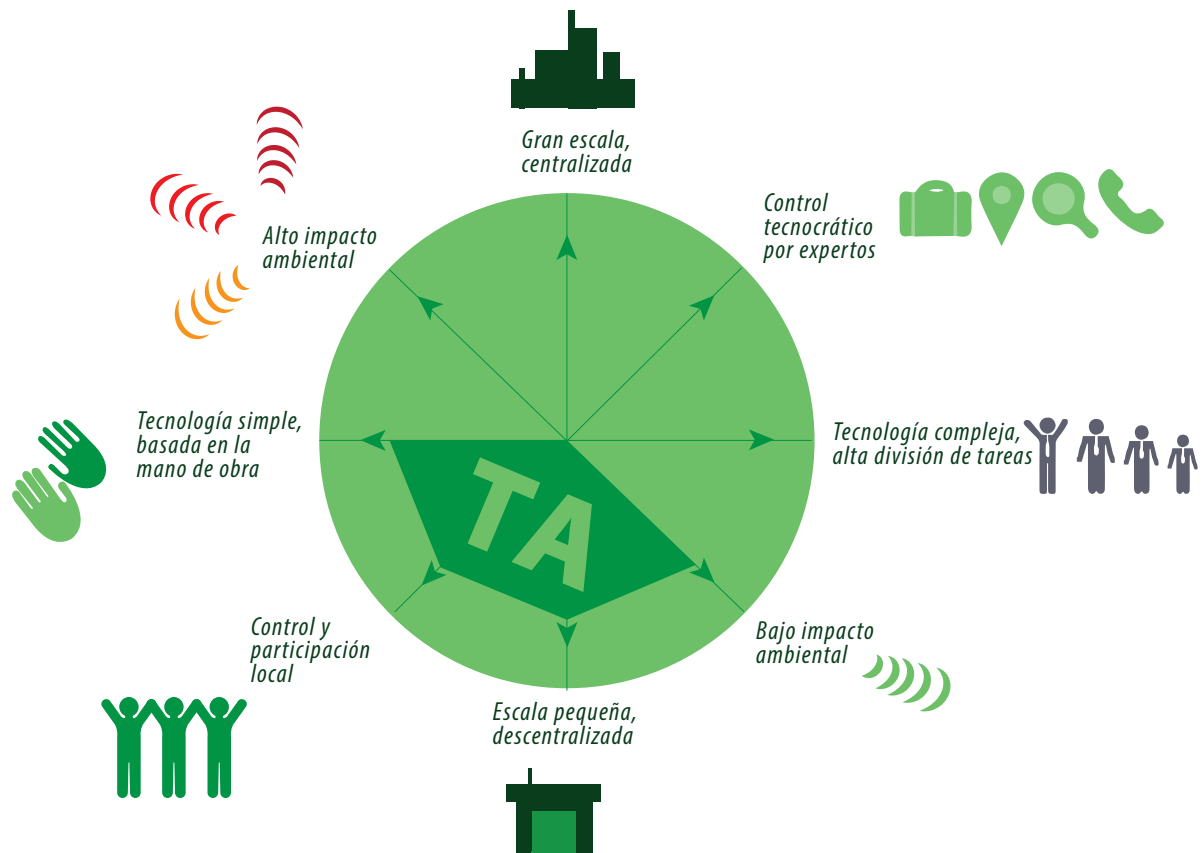


Figura 1.3 Características genéricas del desarrollo tecnológico convencional (mitad superior del diagrama) y atributos principales de las tecnologías alternativas (o apropiadas).

Fuente: modificado de Smith (2005).

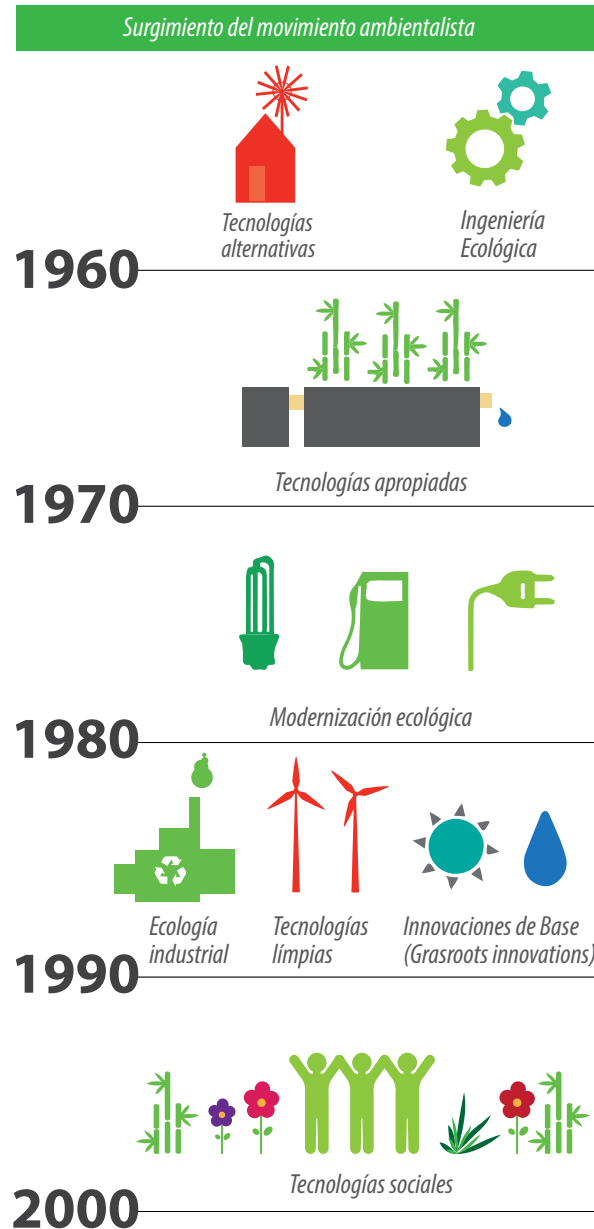


Figura 1.4 Movimientos de replanteamiento tecnológico en orden cronológico desde el surgimiento del ambientalismo en la década de los 60 hasta el siglo XXI.

Fuente: Elaboración propia con datos de Arriola (1989), Murphy (2000), Mitsch y Jørgensen (2003), Giannetti et al, (2004), Smith (2005), Cervantes et al, (2009) y Thomas (2009).

*Cada uno de los movimientos se ubica en la década que surgió o se popularizó internacionalmente. El movimiento más reciente, denominado "tecnologías sociales", no es descrito en esta obra. Para mayor información consultar a Thomas (2009).

UNA PROPUESTA PARA DEFINIR LA ECOTECNOLOGÍA

Actualmente el término ecotecnología no tiene una definición precisa. En la bibliografía en inglés la mayoría de los resultados referentes a la palabra “Ecotechnology” se remiten a las aplicaciones de la ingeniería ecológica y la ecología industrial. En español las referencias científicas son escasas y por lo general están relacionadas con aplicaciones ecológicas como las tecnologías alternativas, dispositivos eficientes para el uso de agua y energía y algunas aplicaciones arquitectónicas.

De la revisión de la literatura en las dos subsecciones anteriores se puede concluir que la mayoría de los enfoques reconocen la inviabilidad socio-ecológica del paradigma tecnológico moderno y ven una alternativa en el desarrollo sustentable; algunos enfatizan la “ecologización” del sistema económico-industrial, mientras que otros buscan justicia y desarrollo social local. Podemos identificar las siguientes características comunes a todos estos enfoques:

- Reconocen los impactos ambientales y socio-económicos de la sociedad industrial.
- Buscan tecnologías alternativas a la tecnología convencional.
- Buscan reducir impactos ambientales y promover el bienestar social.
- Hablan de un proceso de transición hacia nuevas tecnologías ecológicas o ecotecnologías.
- Pretenden contribuir al desarrollo sustentable.

A partir de esto, se propone la siguiente definición operativa del término ecotecnología:

“Dispositivos, métodos y procesos que propician una relación armónica con el ambiente y buscan brindar beneficios sociales y económicos tangibles a sus usuarios, con referencia a un contexto socio-ecológico específico”

No se busca con esto imponer una definición al concepto, sino proponer una referencia útil tomando en cuenta y respetando la diversidad de planteamientos en torno al tema. Ecotecnología, entonces, hace referencia a las tecnologías en sí, pero también a conocimientos científicos, métodos y procesos, desarrollo de infraestructura productiva y estrategias de gestión y difusión. Pueden diseñarse para satisfacer necesidades

básicas como el saneamiento y la cocción de alimentos, así como estar en función de necesidades complementarias como el ocio y el confort. Incluye también aquellas aplicaciones diseñadas para contrarrestar impactos ambientales locales, como la deforestación o la contaminación de cuerpos de agua, y también alternativas para mitigar impactos globales, como la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera.

Un aspecto clave de esta definición, es que las ecotecnologías deben hacer referencia a un contexto socio-ecológico específico. En otras palabras, no existen ecotecnologías universales ni adecuadas *a priori*, las tecnologías pueden ser adecuadas o no con respecto al contexto socioeconómico, histórico, cultural y ambiental de su aplicación, así como a la tarea específica que buscan desempeñar. Es fundamental analizarlas bajo una perspectiva orientada a las necesidades y al contexto de los usuarios.

Un término que acompaña o se interpreta como sinónimo de la ecotecnología en la literatura, principalmente en el idioma español, es el de *ecotecnia*. Este concepto no ha sido definido en la bibliografía científica aunque su uso coloquial es tan común como el de ecotecnología. Considerando los usos del término, definimos las ecotecnias como las aplicaciones prácticas de la ecotecnología, es decir, los artefactos, dispositivos y en general los productos ecotecnológicos tangibles. Por ejemplo: la Agricultura Orgánica podría considerarse una alternativa ecotecnológica a la producción agrícola convencional y los abonos orgánicos serían ecotecnias que resultan de su aplicación concreta.

Aunque hemos definido la ecotecnología de una manera amplia, en este volumen nos enfocamos en las ecotecnias para satisfacer necesidades básicas y mejorar la calidad de vida de los usuarios en condiciones de pobreza y marginación. Se pretende con esto fomentar la innovación, el desarrollo y difusión de ecotecnias adecuadas al contexto del Sur Global y los países en desarrollo, como México, donde las injusticias sociales y ambientales son evidentes y limitan las capacidades de la población para alcanzar una vida satisfactoria y en armonía con su entorno.

ECOTECNOLOGÍAS PARA LA SATISFACCIÓN DE NECESIDADES HUMANAS BÁSICAS EN ÁREAS RURALES

Para el modelo de desarrollo dominante a nivel global, las áreas rurales se han convertido en sinónimo de carencias y atraso, ya que aproximadamente dos terceras partes de la población global en condiciones de pobreza y pobreza extrema reside en ellas (FIDA, 2001; BM, 2010). Para atender este problema se ha considerado imprescindible ampliar y mejorar el acceso a bienes y servicios como agua potable, atención a la salud, saneamiento, vivienda, entre otros (Casillas y Kammen, 2010), mismos que se encuentran mucho más restringidos que en las áreas urbanas (Hasan, 2001). Actualmente, por ejemplo, el 83% de la población sin acceso a fuentes adecuadas de agua potable y el 86% que no cuenta con sanitario son rurales (ONU, 2013).

Resolver dicha problemática plantea retos importantes dentro del modelo de desarrollo actual, cuyas estrategias y tecnología dominante son centralizadas y adaptadas principalmente a las zonas urbanas. De hecho, la mayoría de las políticas actuales de innovación se enfocan en estandarizar y generar nuevos productos, procesos y servicios adecuados para mercados globales (Smith *et al*, 2014). Las tecnologías se han convertido en bienes de consumo desvinculados de las necesidades humanas básicas y en las zonas rurales de los países en desarrollo (donde muchas de estas necesidades están insatisfechas) generalmente se ha impuesto el modelo tecnológico occidental por encima de los conocimientos y culturas autóctonas. Esta desconexión entre las condiciones locales y las políticas y tendencias globales ha abierto una gran brecha entre las iniciativas de innovación y las necesidades rurales locales.

Al querer replicar el modelo de dotación de servicios de tipo urbano-occidental en las áreas rurales muchas veces se provocan problemas de contaminación (como la instalación de drenajes que simplemente canalizan las aguas negras hacia ríos y barrancas circundantes), los costos de los dispositivos o sistemas no son accesibles a los pobladores rurales o la tecnología simplemente no está adaptada a la gran diversidad de condiciones locales. El reto es proporcionar soluciones que promuevan el manejo sustentable de los recursos naturales locales, evitando la degradación ambiental local, y a la vez generando oportunidades económicas que permitan a sus habitantes mejorar sus condiciones de vida.

Las ecotecnologías podrían tener un papel muy importante para resolver las necesidades humanas básicas (saneamiento, obtención de agua potable, producción y cocción de alimentos, etc.) en las áreas rurales, brindando simultáneamente una extensa gama de beneficios ambientales locales (recuperar suelos, reducir la contaminación de los cuerpos de agua locales) y globales (reducir emisiones de GEI a la atmósfera), beneficios a la salud (reducir la contaminación por humo al remplazar fogones por estufas eficientes o eliminar la presencia de patógenos con la instalación de sanitarios ecológicos) o económicos (brindar oportunidades locales para darle valor agregado a los productos, o ahorrar dinero al hacer un uso más eficiente del agua o energía) (Fig. 1.5). Se ha demostrado, por ejemplo, que el desarrollo agrícola basado en tecnologías locales (desde tecnologías milenarias hasta innovaciones recientes a pequeña escala, a nivel vivienda o pequeña producción) ha contribuido a superar las condiciones generales de pobreza (Khan, 2001).

A pesar de las características positivas que las ecotecnologías pueden tener, debemos notar que estas por sí solas no son suficientes para superar retos complejos como la pobreza rural. Además de las innovaciones técnicas, es imprescindible generar soluciones a las barreras políticas, sociales y económicas que evitan que la población de menores ingresos acceda a las tecnologías. Recientemente se ha promovido el desarrollo de procesos de innovación incluyentes, a través de los cuales los grupos sociales más vulnerables y marginalizados (en general económicamente, pero también por motivos raciales y de género, entre otros) pueden empoderarse, generar conocimiento y mejorar sus condiciones de vida. Dichos procesos de innovación consisten en utilizar conocimientos prácticos para generar tecnologías adecuadas a las necesidades de las comunidades en las que se llevan a cabo y así promover transformaciones sociales encaminadas hacia la justicia y el desarrollo local. Algunos movimientos como las innovaciones de base social (Ver sección previa) han surgido para promover innovaciones incluyentes en respuesta a injusticias sociales y problemáticas ambientales originadas a consecuencia de los modelos convencionales de desarrollo tecnológico (Smith *et al*, 2014)⁵.

⁵ El emprendimiento social es una alternativa que está propiciando la generación de innovaciones adecuadas a las necesidades locales y ha promovido el surgimiento de las

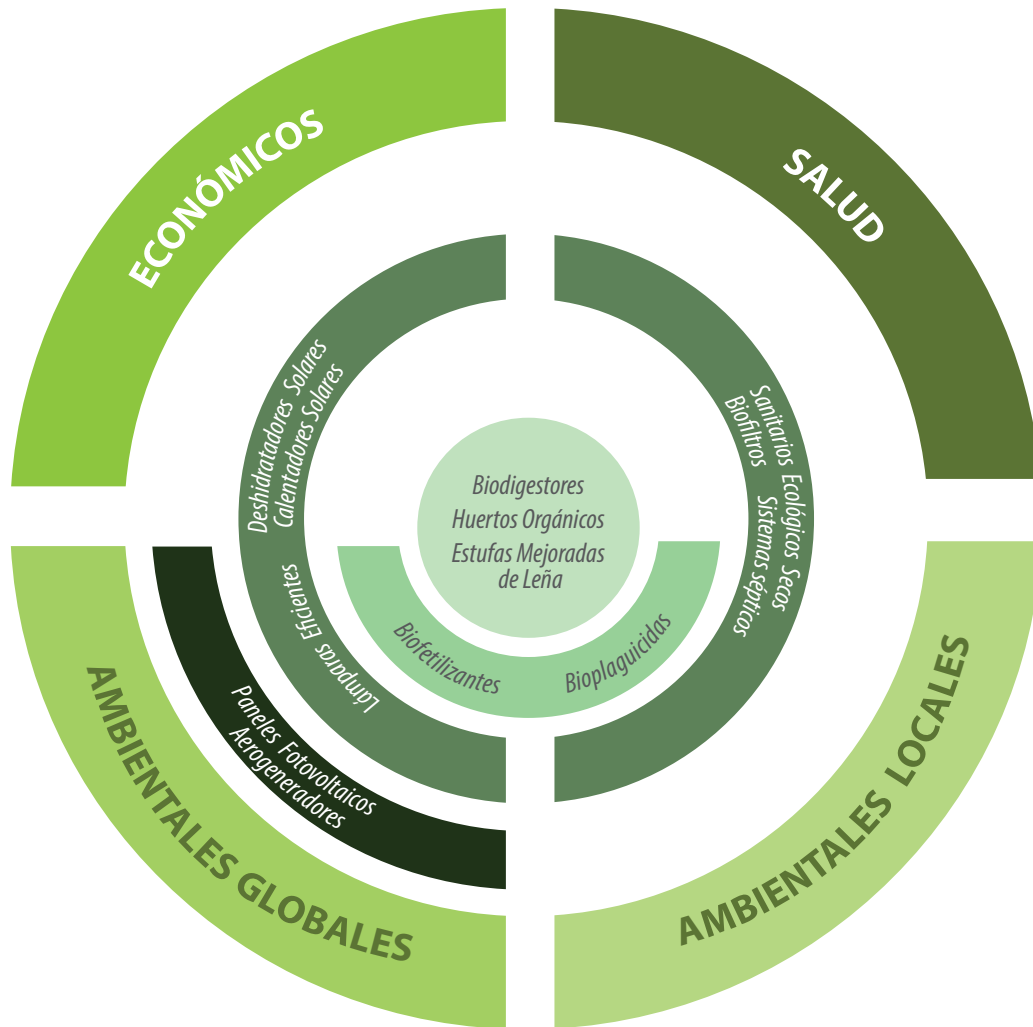


Figura 1.5 Beneficios que brindan distintas ecotecnologías.

Fuente: elaboración propia.

Integrar a las ecotecnologías en estrategias más generales de desarrollo local social, cultural y ambientalmente sustentables es un paso necesario para generar procesos de cambio a escala de una región o país, con impactos duraderos y notables en el ambiente y la calidad de vida de los habitantes rurales. Para lograr estos objetivos, es importante que los procesos de innovación ecotecnológica cumplan una serie mínima de criterios:

- Que las innovaciones se realicen bajo una perspectiva orientada al usuario de la tecnología y su contexto ambiental, socio-económico y cultural.
- Que el diseño de las ecotecnologías esté enfocado a la solución de problemas locales.
- Que sean amigables con el ambiente, promoviendo el uso eficiente de recursos, el reciclado y el re-uso de los productos.
- Que se involucre a los usuarios mediante estrategias participativas de desarrollo tecnológico.
- Que se tomen en cuenta las características sociales productivas y económicas de las comunidades destinatarias.
- Que promuevan la adopción de la tecnología y su impacto en la cotidianidad de los usuarios.
- Que involucren la participación conjunta de distintos sectores como la academia y el gobierno.
- Que vinculen tanto conocimientos científicos como saberes y conocimientos locales.

Asimismo, algunas características importantes que deben tomarse en cuenta en los procesos de difusión de ecotecnias son:

- Que se adecuen a la estructura social y cultural de la comunidad destinataria (estructura familiar, migraciones, composición política, nivel de organización, etc.).
- Que eviten prácticas asistencialistas y clientelares.

innovaciones de base. Gracias a éste se han desarrollado nuevas soluciones a través de innovaciones tecnológicas, mecanismos financieros y modelos de negocios apropiados a la población más pobre. Un ejemplo de ello es la diversidad de emprendedores sociales involucrados en ampliar el acceso a la energía eléctrica en los países en desarrollo (UNE, 2012). La diversificación en sus fuentes de financiamiento les ha permitido superar la dependencia de recursos externos que caracterizó, por ejemplo, al movimiento de las tecnologías apropiadas (London y Hart, 2011).

- Que incluyan acciones de seguimiento post implementación y monitoreo.
- Que sensibilicen al usuario mediante procesos educativos.
- Que culminen hasta que el usuario utilice la tecnología cotidianamente.

Es pertinente hacer varias consideraciones sobre los criterios mencionados anteriormente.

- La innovación en ecotecnologías para la satisfacción de necesidades básicas puede incluir el desarrollo de nuevos dispositivos, métodos, materiales y procesos, o la adaptación y/o mejora de tecnologías existentes, tanto tradicionales como modernas. Por ejemplo, el *súper adobe* fue una innovación que surgió en 1984 a partir del adobe tradicional, tecnología utilizada desde el siglo VII a. C., y, por otra parte, las celdas fotovoltaicas fueron producto de innovaciones tecnológicas de punta en la segunda mitad del siglo XX.
- Que las ecotecnologías traten de ser sencillas y entendibles para los usuarios no significa que representen “baja tecnología” o que no requieran investigación científica. Existen dispositivos de alta tecnología que bajo ciertas condiciones pueden ser fuertemente apropiables y generar impactos sociales y ambientales positivos (por ejemplo, los paneles solares o los aerogeneradores). Así como se cuenta con tecnologías adecuadas al contexto de implementación desde su diseño, también existen tecnologías exógenas que pueden adecuarse *a posteriori* a la cotidianidad de los usuarios.
- La investigación científica y tecnológica tiene un papel muy importante en el desarrollo de innovaciones ecotecnológicas y procesos de difusión adecuados al contexto de los usuarios. Las universidades deben asumir un rol protagónico en la generación de conocimientos útiles que contribuyan a combatir rezagos sociales, como la pobreza y marginación, y problemáticas ambientales emergentes o temporalmente no resueltas. Es importante que la generación de conocimientos científicos y tecnológicos sea parte entonces de un diálogo de saberes con las culturas autóctonas y conocimientos locales.⁶

⁶ La creación de redes multidisciplinarias integradas por miembros de diferentes sectores sociales (investigadores, inversionistas, funcionarios públicos y usuarios, entre otros)

En síntesis, el desarrollo y difusión de ecotecnologías adecuadas a las condiciones y necesidades de los usuarios es clave para ampliar el acceso a bienes y servicios básicos en las áreas rurales. Mediante procesos inclusivos de innovación ecotecnológica es posible contribuir al combate a la pobreza y marginación rural, mismos que pueden traducirse en procesos positivos de transformación socio-ecológica a nivel local.

Después de esta revisión general de la génesis del concepto de ecotecnologías, sus características y de su posible aporte para resolver algunos de los retos ambientales y sociales de las áreas rurales, en la siguiente sección nos enfocaremos en la situación concreta de México. En particular veremos cuál es el status de las carencias en la satisfacción de necesidades básicas de las áreas rurales del país y cuáles son las experiencias más relevantes para cada una de las necesidades o ejes de análisis.

puede contribuir enormemente a fomentar el diálogo de saberes y con ellos al desarrollo y difusión de Ecotecnologías (Smith, 2005; Smith *et al*, 2014). Olivé (2012) propone la organización de “Redes socio-culturales de innovación” integradas por expertos, usuarios potenciales de las tecnologías y gestores que articulen las demandas de los diferentes sectores sociales.

SECCIÓN 2: PANORAMA GENERAL DE LA ECOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

En esta segunda sección del libro analizamos la situación de las ecotecnologías en México. Comenzamos la sección con una revisión de la problemática de pobreza y carencias en la satisfacción de necesidades básicas en el México rural. Seguidamente describimos de manera sucinta nuestra propuesta de clasificación de las ecotecnologías de acuerdo con cinco ejes de necesidades (energía, agua, alimentación, vivienda y manejo de residuos) y tareas específicas (o usos) que ayudan a cubrir. En la tercera sub-sección analizamos con detalle los actores, experiencias y ecotecnias en México. Aquí brindamos una descripción breve de cada dispositivo o metodología y documentamos las experiencias que nos parecieron más sobresalientes dentro de cada eje. Tratamos además de identificar los avances y retos del desarrollo, la validación y la implementación de ecotecnologías en el país. En un Anexo incluimos un directorio de las principales organizaciones de la sociedad civil (OSC), empresas y dependencias gubernamentales involucradas en el desarrollo, validación, difusión y monitoreo de ecotecnologías en México.

CARENCIAS EN LA SATISFACCIÓN DE LAS NECESIDADES BÁSICAS EN MÉXICO

POBREZA Y DESIGUALDAD EN MÉXICO

Uno de los grandes problemas en México es la desigualdad económica: 60% de la población vive en estratos de bajos ingresos y entre 36% y 46% de la misma en condiciones de pobreza, según la fuente consultada (CONEVAL, 2011, CEPAL, 2012). En contraste, menos del 2% de la población cuenta con ingresos altos, concentrando la mayor parte de la riqueza del país (Ver **Fig. 2.1**). Asimismo, las actividades económicas en el país generan altos impactos ambientales, un ejemplo de ello es que históricamente México ha sido la nación de América Latina con mayores emisiones de GEI (sin contemplar cambio de uso de suelo) (WRI, 2012).

Durante las últimas décadas la población nacional se ha ido concentrando en las ciudades. Actualmente el 80% de la población vive en localidades urbanas (INEGI, 2010) con lo que el porcentaje de la población rural en el total se ha reducido. Sin embar-

Distribución de las Clases Sociales en México

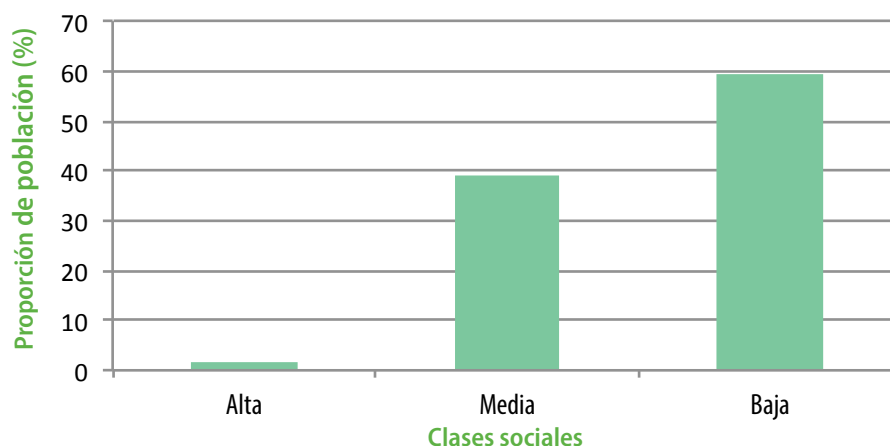


Fig. 2.1 Distribución de las clases sociales en México de acuerdo con los resultados de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares en 2000 y 2010.

Fuente: INEGI (2013).

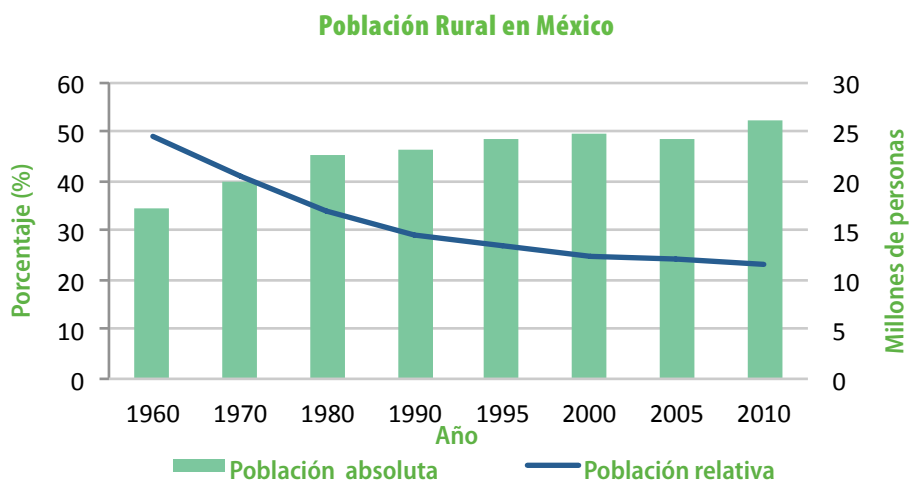


Fig. 2.2 Evolución absoluta y relativa de la población rural (población en localidades menores a 2,500 habitantes) en México durante el periodo de 1960 a 2010.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2011).

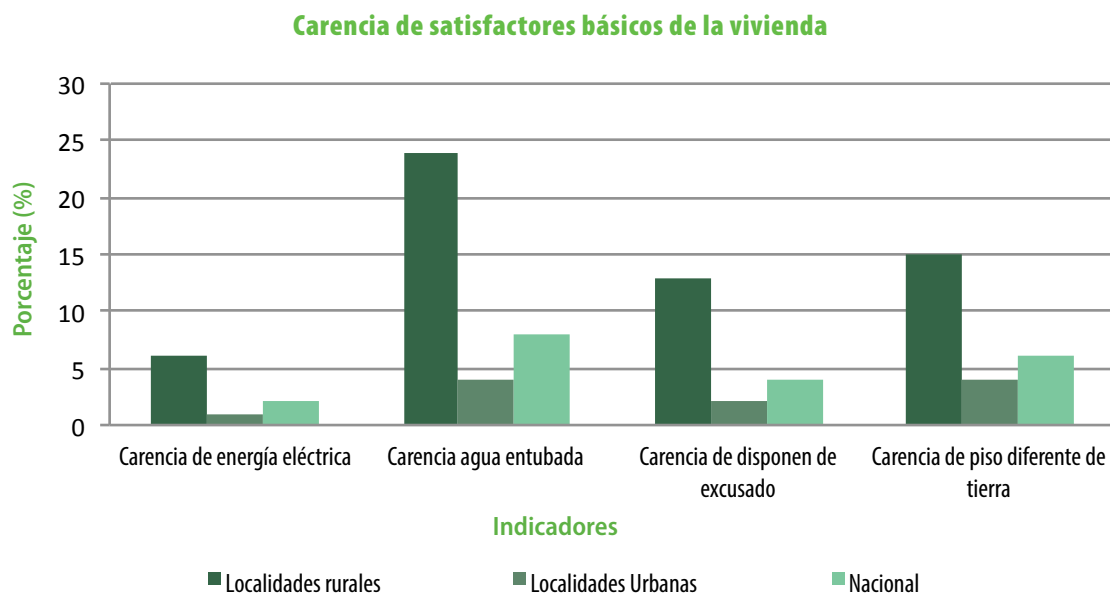


Fig. 2.3 Porcentaje de viviendas particulares habitadas totales en áreas urbanas (>2,500 hab.) y rurales (<2,500 hab.) que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, excusado y piso diferente de tierra.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2010).

*El total nacional representa el porcentaje que carece de satisfactores con respecto al total de las viviendas particulares en el país.

go, en términos absolutos, esta última ha aumentado progresivamente y alcanzó en el año 2010 los 26 millones de personas (Ver **Fig. 2.2**), ubicándose como la segunda población rural más grande de Latinoamérica. El sector rural no debería pasar desapercibido para las políticas económicas y de bienestar social, no obstante, al igual que en la mayoría de los países en desarrollo, en dichas áreas se localiza la población con mayores índices de marginación y pobreza. En México alrededor del 60% de la población en condiciones de pobreza extrema es rural (Caballero, 2005).

Las áreas rurales del país enfrentan una serie de retos sociales críticos como la migración –hacia el extranjero y a otras regiones de México– y el auge del narcotráfico (Maldonado, 2011). La reestructuración económica del país y la implementación de políticas neoliberales en las últimas décadas han marginado al campesinado y generado polarización social: por un lado existe un número reducido de empresas agroindustriales con elevados niveles de rentabilidad y por otro un gran número de medianos y pequeños productores que progresivamente pierden productividad y competitividad (CONEVAL, 2011). Las zonas rurales cuentan además con diversas problemáticas ambientales asociadas al manejo inadecuado de los ecosistemas. La deforestación y la degradación del suelo son los problemas más comunes (Landa *et al*, 1997), a los cuales se añaden la pérdida de biodiversidad y la contaminación del agua y el suelo. Mejorar la calidad de vida de la población rural propiciando el uso sustentable de los recursos naturales locales merece ser un asunto prioritario para el país. En particular, asegurar que por lo menos todos los habitantes rurales tengan cubiertas sus necesidades básicas. Sin embargo, como se expone en la siguiente sección, la tarea es ardua ya que el nivel y tipo de carencias es muy extenso.

CARENCIAS EN LA SATISFACCIÓN DE NECESIDADES BÁSICAS Y SU DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

El acceso a infraestructura, bienes y servicios para la satisfacción de necesidades humanas básicas en nuestro país es muy diferente en las áreas rurales y las urbanas. La población rural en México carece de infraestructura para el acceso a agua potable, energía eléctrica y saneamiento en mayor medida que en las ciudades. Además, las condiciones de las viviendas también son generalmente más precarias. En la **Fig. 2.3** se comparan algunos indicadores evaluados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el censo nacional de

población y vivienda de 2010. Puede observarse que la carencia de energía eléctrica llega al 6% de las localidades, la carencia de agua entubada al 24%, la carencia de excusados al 13% y el uso de pisos de tierra a 15% de las viviendas rurales.

El nivel y tipo de carencias en la cobertura de necesidades básicas varían mucho entre las distintas regiones del país. En la **Fig. 2.4** se presenta un mapa nacional que es resultado de un análisis integrado de la carencia de satisfactores básicos en cuestión de energía limpia para cocinar (utilizando como indicador la carencia de estufas de leña mejoradas), agua (carencia de agua entubada), manejo de residuos (carencia de sanitario) y vivienda (carencia de piso diferente de tierra), a nivel municipal. Se clasifican los municipios en cinco categorías: muy críticos cuando presentan carencias en los cinco ejes identificados, críticos cuando existen carencias en cuatro de los cinco y así sucesivamente, hasta no críticos cuando no presentan ninguna carencia en estos ejes. Del mapa se observa que la mitad de los municipios del país presenta algún tipo de carencia. Un total de 290 municipios presenta dos carencias y 93 municipios tres o más carencias. Los municipios en estas últimas tres categorías se ubican sobre todo en la Sierra Madre Occidental (como la Sierra Tarahumara y la Zona Huichol), así como en el Centro y Sur del país, particularmente en Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

De las cinco carencias de satisfactores básicos estudiados, la situación más crítica en México se presenta para el caso de estufas eficientes de leña –con 5,000,000 de viviendas que no tienen estos dispositivos y en las que se cocina con fogones sin chimenea–. Las viviendas en esta condición están concentradas sobre todo en los municipios con mayor población indígena y en la zona centro y sur de nuestro país (Ver **figura 1 en Anexo 1**). La carencia de agua entubada y de piso diferente al de tierra afecta a 2,200,000 y 1,200,000 viviendas, respectivamente, y tiene también una amplia distribución geográfica en el país (Ver **figuras 4 y 5 en Anexo 1**). Para el caso de la carencia de sanitario –que afecta aproximadamente a 1,200,000 viviendas, las zonas que presentan mayor incidencia son la Región Huichol, municipios específicos del Centro-Occidente, Tabasco y la Península de Yucatán (Ver **figuras 2 en Anexo 1**). La menor carencia con respecto a la viviendas sin acceso a la energía eléctrica, la cual también se concentra mayormente en la Sierra Madre Occidental y partes del sureste del país (Ver **figura 3 en Anexo 1**).



Fig. 2.4 Situación actual a nivel municipal con respecto al número de carencias de satisfactores básicos en la vivienda.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2010) y Serrano-Medrano et al, (2013).

El fracaso de las políticas de desarrollo convencionales, evidenciado por la magnitud y amplia distribución geográfica de la población rural con carencias graves en la satisfacción de sus necesidades básicas, y por los problemas de degradación ambiental, hace necesario implementar estrategias innovadoras. Por ejemplo, dar prioridad a la generación de oportunidades económicas locales puede contribuir a disminuir la migración hacia las ciudades o al extranjero. El manejo sustentable de los recursos naturales locales, debería ser otra prioridad ya que la mayor parte de las actividades económicas también está relacionada directa o indirectamente con actividades primarias como la agricultura, ganadería, manejo forestal o pequeñas industrias también asociadas a recursos locales.

Las ecotecnologías pueden ser un elemento importante de estas estrategias innovadoras orientadas

al desarrollo rural sustentable. Por ejemplo, podrían ayudar a catalizar procesos de desarrollo locales y amigables con el entorno inmediato. Incluso podrían convertirse en herramientas para desencadenar el fortalecimiento de capacidades y el empoderamiento comunitario mediante estrategias participativas de innovación y desarrollo tecnológico. Una de las grandes riquezas de México, producto de su alta diversidad biológica, geográfica y cultural, es el cúmulo de conocimientos asociados al manejo de ecosistemas que poseen las diferentes culturas y grupos sociales locales a lo largo de su territorio. La integración de estos conocimientos locales con la investigación ecotecnológica ayudaría también a generar alternativas para superar la pobreza y aumentar el bienestar social de los pobladores.

ECOTECNOLOGÍAS PARA LA SATISFACCIÓN DE NECESIDADES BÁSICAS RURALES EN MÉXICO: UNA PROPUESTA PARA EL SECTOR DOMÉSTICO

El concepto de necesidades humanas básicas agrupa las mínimas necesidades humanas cuya satisfacción permite garantizar el bienestar físico a largo plazo. El concepto se introdujo en la Conferencia Mundial del Empleo de 1976 de la Organización Internacional del Trabajo (Jolly, 1976). Tradicionalmente, se considera que las necesidades básicas inmediatas son: alimentación, agua, refugio y ropa, aunque muchas listas modernas incluyen también higiene, educación y atención médica¹. De acuerdo con Max-Neef *et al.*, (2010), las necesidades humanas básicas son pocas, finitas y clasificables, y son las mismas en todas las culturas y períodos históricos. Desde otros puntos de vista, como el pluralismo, no hay una definición absoluta, y se considera que las necesidades varían con cada contexto cultural². La limitación –o

en casos extremos la privación– de la satisfacción de las necesidades humanas básicas de un individuo, familia o grupo social, es un referente claro de pobreza. Por ello lograr la satisfacción de las mismas se ha convertido en un asunto prioritario para los gobiernos y agencias internacionales.

Para los propósitos de este libro hemos utilizado –coincidiendo con Careaga (2012)– cinco necesidades básicas o “ejes fundamentales mínimos” para el bienestar humano: alimentación, vivienda, agua, energía y manejo de residuos. (Ver Fig. 2.5) Las tres primeras necesidades aparecen en cualquier aproximación al problema. La energía debe ser otro eje fundamental de análisis ya que se requiere para resolver cualquiera de las otras necesidades básicas. Sin embargo, igual que cualquier otro recurso, debe ser utilizado con moderación y eficiencia para evitar problemas ambientales y a la salud humana. En este trabajo con la necesidad de energía nos referimos a cubrir estándares mínimos para poder satisfacer las necesidades asociadas a la alimentación, refugio, manejo de agua y otras. Finalmente, incluimos como quinta dimensión el manejo de residuos, pues aunque no se contempla muchas veces como necesidad básica, es cada vez más importante para asegurar un medio ambiente sano. De hecho, manejar adecuadamente y reciclar los residuos es la única forma de cerrar el “ciclo” en cuestión del uso de materiales y energía,

¹ Los Objetivos de Desarrollo del Milenio de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) definen las necesidades humanas y derechos básicos que todos los individuos del planeta deberían poder satisfacer y disfrutar. Abordan cuestiones como el acceso a fuentes adecuadas de agua potable, saneamiento, cuidado de la salud, nutrición y vivienda. Han sido considerados como la herramienta más exitosa para luchar contra la pobreza a nivel mundial (ONU, 2013). En 2012, por ejemplo, se cumplió el objetivo de reducir a la mitad el número global de personas que no contaban con acceso a fuentes seguras de agua potable (UNICEF y OMS, 2012).

² Olivé (2011) concibe el “Pluralismo” como una posición filosófica en la que grupos de morales distintas pueden convivir

y realizar proyectos comunes bajo una misma ética, reconociendo que hay muchas formas posibles de conocer y de interactuar con el mundo. En el pluralismo no existe solo una forma que sea la correcta, por ende no deben asumirse necesidades humanas básicas universales.

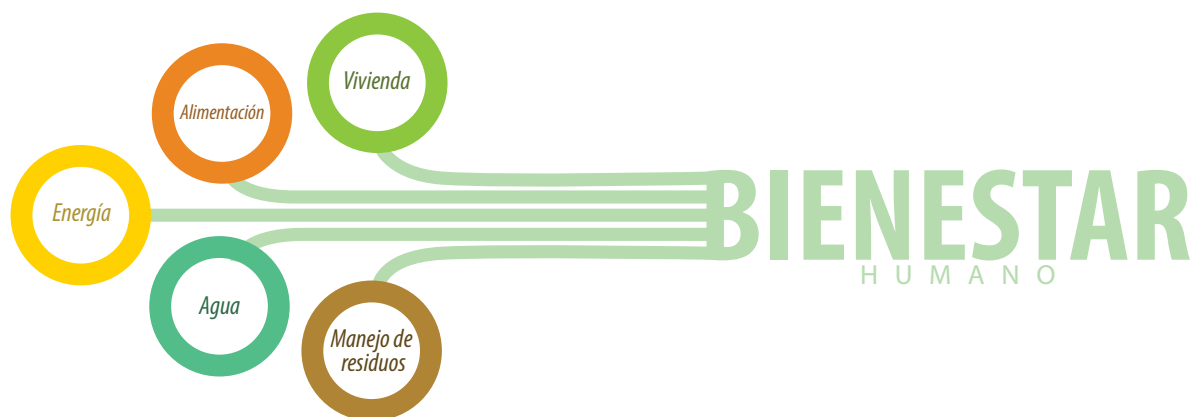


Fig. 2.5 Necesidades humanas básicas (o ejes de análisis) considerados en este estudio.

Fuente: Elaboración propia.

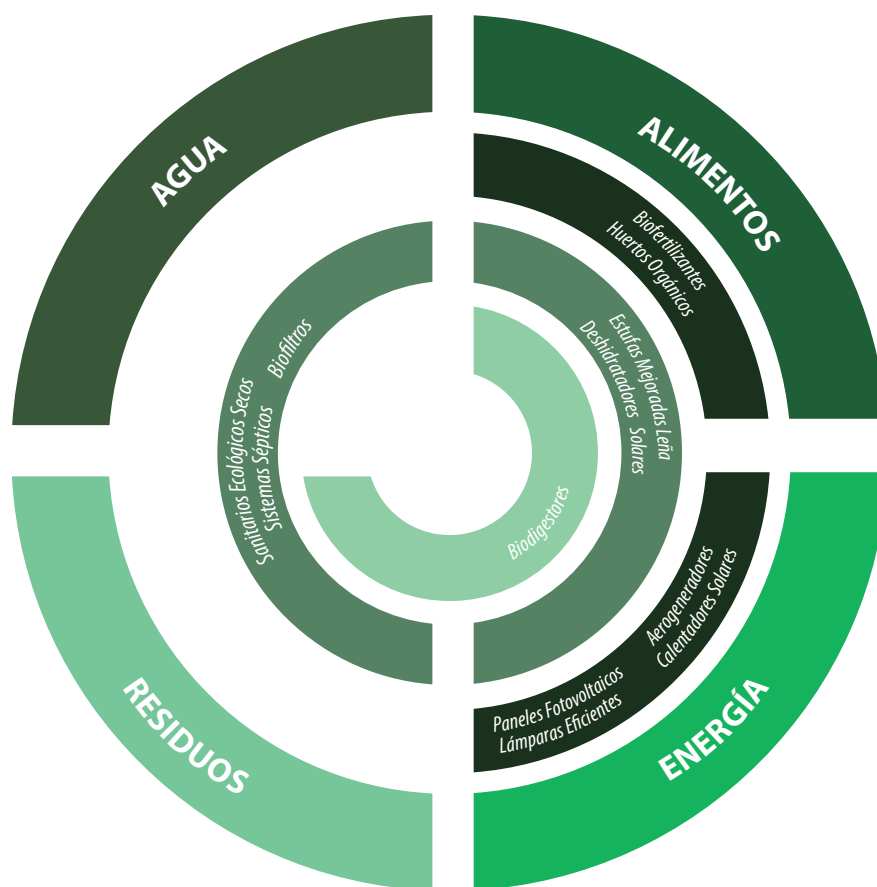


Fig. 2.6 Ejemplos de ecotecnias para la satisfacción de cuatro necesidades básicas.

Nótese que algunas ecotecnias ayudan a satisfacer más de una necesidad.

Fuente: Elaboración Propia.

de manera que se usen eficientemente los recursos, se evite la contaminación y se reduzcan también otros problemas sanitarios a nivel doméstico.

Queremos destacar que los ejes mencionados no cubren la totalidad de necesidades básicas. La movilidad, por ejemplo, también podría considerarse una necesidad básica desde otros puntos de vista, sobre todo en áreas urbanas, pero por razones de espacio y tiempo no ha sido posible incluirla en este trabajo.

En la “Descripción de actores, ecotecnias e iniciativas” de la sección 2.3 analizaremos los esfuerzos e iniciativas más relevantes en México relacionados con ecotecnias de aplicación doméstica rural y a pequeña escala. Para facilitar el análisis, clasificamos estas últimas según la necesidad humana básica que resuelven dentro de los cinco ejes considerados en el estudio. Un problema con este enfoque es que una misma ecotec-

nia puede ayudar a satisfacer más de una necesidad.³ Los biodigestores, por ejemplo, permiten el manejo de residuos pecuarios, la generación de energía y la producción de abonos orgánicos que pueden utilizarse para producir alimentos. Otro ejemplo interesante son los sanitarios secos ya que ayudan a conservar el agua y resuelven un problema de manejo de residuos. En la **Fig. 2.6** se exponen las relaciones entre diferentes ecotecnias respecto a cuatro de las necesidades básicas estudiadas. Para fines prácticos hemos ubicado cada

³ A diferencia de las necesidades básicas, los satisfactores, es decir, la manera o los medios técnicos utilizados para lograr la satisfacción de dichas necesidades, cambian con el tiempo, puesto que se determinan culturalmente y cada sociedad adopta diferentes alternativas. Aquí juegan un papel central las tecnologías y, en particular, las ecotecnologías.

CATEGORIZACIÓN DE ECOTECNIAS

Eje fundamental para la satisfacción de necesidades humanas básicas



Tarea específica



Alternativas tecnológicas



Fig. 2.7 Ejemplo de categorización de ecotecnias orientada a usos finales/tareas específicas. Caso de la cocción doméstica.

Fuente: Elaboración Propia.

ecotecnia en una necesidad particular, notando, según sea el caso, las conexiones con otras necesidades.

En términos operativos, para cada necesidad (o eje fundamental) se puede definir una serie de tareas o usos específicos. Por ejemplo, la necesidad de energía integra diversos usos como cocción y conservación de alimentos, calentamiento de agua y otras. Para resolver la necesidad de agua se requiere su obtención, almacenamiento y purificación y así sucesivamente con otras necesidades. Finalmente, para satisfacer cada uno de estos usos o tareas específicas normalmente se puede elegir entre un conjunto de ecotecnias. Por ejemplo, para resolver la tarea de cocción podemos optar por estufas eficientes de leña, estufas solares o estufas de biogás. Se genera así un árbol jerárquico de análisis necesidad-tarea-ecotecnología (**Fig. 2.7**).

La **Fig. 2.8** muestra la relación de las distintas ecotecnias consideradas en este estudio para cada necesidad o eje y tarea específica. En el análisis se incluyó un total de 15 tareas y más de 20 ecotecnias, que varían en número de acuerdo con la necesidad que cubren. Por ejemplo, en el caso de la necesidad de manejo de residuos, incluimos las tareas de manejo residuos pecuarios (con la ecotecnia correspondiente de los biodigestores), saneamiento con arrastre hidráulico (con las ecotecnias de biofiltros, humedales artificiales y sistemas sépticos) y saneamiento seco (con las ecotecnias de sanitarios y mingitorios ecológicos).

Para analizar las tecnologías de forma sistemática hemos ordenado la información de cada ecotecnia se-

gún cuatro categorías: desarrollo, validación, difusión y monitoreo. En la sección de desarrollo se analizan los centros de investigación y desarrollo tecnológico, las empresas manufactureras, las organizaciones de la sociedad y los otros actores que investigan, diseñan, fabrican y elaboran las ecotecnias. Estos actores son quienes encabezan los procesos de innovación tecnológica y en muchos casos también están involucrados en la difusión de las ecotecnias. En la sección de validación se consideran las acciones encaminadas a valorar, garantizar y certificar el funcionamiento y los impactos de la ecotecnia. Se describe la normatividad y legislaciones pertinentes y las instituciones dedicadas a desarrollar metodologías y pruebas de funcionamiento de los dispositivos. La sección de difusión examina el proceso de promoción, financiamiento, implementación, transferencia tecnológica y comercialización que ocurre a partir de la fabricación de la ecotecnia hasta su implementación. Gay (1997) afirma que es la difusión la que permite a las innovaciones materializarse en hechos económico-sociales. Aquí se describen las principales OSC, empresas comercializadoras, facilitadores técnicos y programas gubernamentales involucrados. Y, finalmente, en la sección de monitoreo y evaluación se documentan las experiencias de seguimiento, cuantificación, evaluación y en general las acciones posteriores a la implementación de la ecotecnia. Estas acciones son las que determinan el grado en que las tecnologías fueron adoptadas por los usuarios.

EJES DE NECESIDADES	TAREAS ESPECÍFICAS	ALTERNATIVA TECNOLÓGICA (ECOTECNIA)
ENERGÍA	COCCIÓN DE ALIMENTOS	ESTUFAS DE LEÑA MEJORADAS COCINAS SOLARES
	CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS	DESHIDRATADORES SOLARES
	GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	AEROGENERADORES PANELES FOTOVOLTAICOS PLANTAS HIDROELÉCTRICAS A PEQUEÑA ESCALA
	ILUMINACIÓN	LÁMPARAS EFICIENTES
	CALENTAMIENTO DE AGUA	CALENTADORES SOLARES DE AGUA
	AGUA	ABASTECIMIENTO Y PURIFICACIÓN DE AGUA
MANEJO DE RESIDUOS		SANEAMIENTO CON ARRASTRE HIDRÁULICO
	SANEAMIENTO SECO	SANITARIOS ECOLÓGICOS SECOS MINGITORIOS SECOS
	MANEJO DE RESIDUOS PECUARIOS	BIODIGESTORES
ALIMENTACIÓN	PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS A PEQUEÑA ESCALA	HUERTOS FAMILIARES
	CONTROL DE PLAGAS	CONTROL BIOLÓGICO
	FERTILIZACIÓN	BIOFERTILIZANTES
VIVIENDA	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA VIVIENDA	PRINCIPIOS DE DISEÑO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
	IMPLEMENTACIÓN DE ECOTECNIAS EN LA VIVIENDA	VARIAS DE LAS ANTERIORES

Fig. 2.8 Relación de las ecotecnias analizadas, organizadas por necesidad básica y tarea específica.

Fuente: Elaboración propia.

DESCRIPCIÓN DE ACTORES, ECOTECNIAS E INICIATIVAS

ENERGÍA

Cocción de Alimentos

Estufas de Leña Mejoradas

Para entender la importancia de las estufas de leña mejoradas en México (también llamadas estufas ahorradoras, eficientes o ecológicas) hay que considerar que la leña es el principal combustible para 28 millones de personas en toda la República y que cinco millones de familias, la mayoría en el centro y sur del país, en condiciones de pobreza y marginación, todavía utilizan fogones abiertos en la cocción de sus alimentos (Díaz, 2000; Díaz *et al*, 2011). Además, el 90% de los usuarios de leña vive en áreas rurales (Díaz, 2000).

Cuando un fogón se sustituye por una estufa ahorradora hay múltiples beneficios: y el consumo de leña es menor, por lo que se reduce la deforestación, se mitigan emisiones de GEI y la familia invierte menos tiempo o dinero conseguirla y el humo se expulsa fuera de la vivienda, lo que la mantiene en mejor estado, previene padecimientos respiratorios y permite a la familia convivir durante la preparación de los alimentos (véase **Fig. 2.9**). Actualmente existe un gran bagaje teórico y práctico sobre el tema, que se refleja en la amplia variedad de modelos, materiales, aspecto y costo de las estufas ecológicas disponibles en México (INE, 2009).

Desarrollo de la Ecotecnología

Los principales desarrolladores de estufas mejoradas son OSC, instituciones académicas y, recientemente, empresas privadas. Algunos procesos de innovación han incluido el empleo de conocimientos tradicionales de comunidades, la generación de conocimientos técnicos y científicos propios y la colaboración con instituciones de investigación.

Un ejemplo de una estufa cuyo desarrollo integró esfuerzos y conocimientos de usuarios en comunidades rurales, instituciones académicas y la sociedad civil es la estufa *Patsari* (“la que guarda” en purépecha), desarrollada por el Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, A.C. (GIRA) en colaboración con el Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco) y el Instituto de Ingeniería (II) de la Universidad Nacional Autó-



Fig. 2.9 Beneficios de las estufas de leña mejoradas en la calidad de vida de los usuarios.

Fuente: Modificado de Díaz et al, (2011).



Fig. 2.10 Estufa Túmben K'óoben.

Fotografía cortesía de U'yo'olché.

noma de México (UNAM), amas de casa y técnicos comunitarios de la Región del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. Se trata de una versión mejorada de la estufa Lorena⁴ y desde su aparición en 2003 se han elaborado cuatro modelos diferentes con mejor aislamiento de la cámara de combustión, mayor durabilidad y facilidad de construcción y replicación. El diseño de la estufa *Patsari* destaca por estar adecuado a las condiciones de las comunidades locales.

Otro ejemplo de una estufa desarrollada de forma participativa es la *Túmben K'óoben*, “retoño” en maya (Fig. 2.10), introducida por la asociación civil *U'yo'olché* a partir de la iniciativa de comunidades indígenas de la Península de Yucatán para acceder a las estufas mejoradas, mismas que no habían sido difundidas en la región como en otras partes del país. El modelo se basó en la estufa *Patsari* pero fue adecuado a las condiciones ambientales, sociales y culturales de la región. Su diseño tomó en cuenta el uso de materiales locales y las preferencias de los usuarios. Se distribuyeron prototipos que fueron evaluados y modificados a través de una estrategia de seguimiento que incluyó foros de intercambio de opiniones y conocimientos, hasta la elección de un modelo final

⁴ La estufa Lorena (lodo y arena) es una estufa de leña desarrollada en Guatemala a mediados de los años setenta.

(Proust y Magaña, SF). A diferencia de otras estufas, cuenta con una llave para calentar agua que evita que las amas de casa tengan contacto con el líquido frío, lo cual puede ocasionarles artritis.

Una estufa prefabricada que también tiene una presencia importante en el país es la *Onil*, promovida por la organización internacional Helps International desde hace más de 10 años en Guatemala y otros países de Latinoamérica. Desde su concepción se tomaron en cuenta factores culturales, técnicos y económicos para crear un dispositivo que pudiera producirse en serie y distribuirse de forma masiva en las comunidades rurales de América Latina. Aunque este modelo fue desarrollado en Guatemala, desde 2007 la estufa *Onil* (Fig. 2.11) se fabrica y distribuye en México; en Cuautla, Morelos se encuentra una planta de fabricación. Si bien el dispositivo no se construye *in situ*, el modelo de distribución de Helps International busca tener elementos de organización y participación comunitaria.



Fig. 2.11 Estufa Onil.

Fotografía cortesía de Helps International.

Entre las empresas que han diseñado y fabrican estufas de leña mejoradas se encuentran: Soluciones Ecológicas de Bienestar Social con los modelos *Tonalli* y *Koben*, Mexalit-Eureka con los modelos *Chiantli* y *Tonalá* y Manufacturas Especializadas Metálicas para la Industria de la Construcción con el modelo *Ecostufa*. Sin embargo, y debido a que el desarrollo de tecnologías en el sector rural debe ser participativo e incluyente, es decir que tanto los usuarios como los desarrolladores deben interactuar desde el inicio y ser co-partícipes en el diseño y evaluación, cuando una tecnología es desarrollada únicamente por em-

presas privadas, universidades o centros de investigación sin un proceso participativo se corre el riesgo de dar prioridad a aspectos tales como la eficiencia energética, la estética o la facilidad de fabricación, y olvidar aspectos regionales específicos o aspectos

culturales relacionados con el uso cotidiano que se dará a la tecnología (Berrueta *com pers*, 2014). En la **Tabla 2.1** se muestran algunos ejemplos de estufas de leña mejoradas.



Tabla 2.1 Ejemplos de estufas de leña mejoradas difundidas en México.

Fotografías cortesía de Víctor Berrueta.

Validación de la Ecotecnología

De los muchos modelos de estufas en el país solo algunos cuentan con información precisa sobre su eficiencia energética, grado de aceptación y mitigación de GEI. Con respaldo académico es posible validar el funcionamiento de los dispositivos mediante investigaciones y pruebas, sin embargo, en muchos casos solo se cuenta con la información que proporcionan los proveedores o algunos reportes sobre experiencias de implementación. Conocer esta información es indispensable para alcanzar los objetivos de los programas de implementación relacionados con la salud y el ambiente (INE, 2009). Hasta ahora no existen normas técnicas para evaluar el desempeño de las estufas.

Las estufas *Patsari* y Onil son las que cuentan con mayor respaldo académico, con estudios realizados en proyectos de tesis e investigaciones publicadas en revistas especializadas. Helps International ha llevado a cabo estudios técnicos en laboratorio y en campo para evaluar el funcionamiento y la calidad de los materiales de sus estufas. Han registrado ahorros de leña del 40% al 67% (Díaz *et al*, 2011) y reducción de la contaminación intramuros. La *Patsari* cuenta con el respaldo técnico de centros de investigación de la UNAM y se ha probado que reduce hasta en 60% el consumo de leña y hasta en 70% la contaminación intramuros respecto a fogones tradicionales (Berrueta *et al*, 2008). GIRA también ha desarrollado el “Proceso de Certificación *Patsari*” y la “Red Nacional *Patsari*” con los que busca, evalúa y reconoce a las organizaciones que promueven estas estufas, otorgándoles un “Certificado *Patsari*” que garantiza la calidad de las estufas difundidas, la eficacia de los métodos de implementación y la satisfacción de las necesidades de cocción.

El ahorro en el consumo de leña es el principal indicador evaluado en la mayoría de los otros modelos: 60% para la *Túumben K’óoben* (Torres, 2012), hasta 75% para *Chiantli* y Tonalá (Mexalit, 2009) y hasta 80% para *Tonalli* y *Koben* (SEBS, 2010). Sin embargo, esta información no cuenta con el mismo rigor de validación en todos los casos pues no existen certificaciones que comprueben que el ahorro de leña es constante bajo diferentes condiciones de uso.

Hasta la creación del Laboratorio de Innovación y Evaluación en Estufas de Biomasa (LINEB) en el CIEco de la UNAM en 2009, no existían laboratorios que pudieran evaluar el desempeño de las estufas (Fig. 2.12). El LINEB tiene el objetivo de convertirse en un organismo evaluador para la zona México-Cen-



Fig. 2.12 Pruebas técnicas en el LINEB del CIEco.

Fotografía cortesía de Unidad de Ecotecnologías, CIEco.

troamérica y cuenta con equipos y protocolos especializados para evaluar la cantidad de emisiones de GEI de las estufas y otros parámetros.

Establecer normas técnicas y centros de certificación para estufas mejoradas permitiría garantizar el impacto de la tecnología y determinar las características técnicas necesarias para su funcionamiento efectivo. De otro modo los beneficios con respecto al costo y los impactos de muchos de los modelos existentes se vuelven imprecisos.

Difusión de la Ecotecnología

La difusión de estufas de leña en México generalmente ocurre de tres formas: a través de fundaciones o donadores internacionales, de programas gubernamentales o del contacto directo entre desarrolladores y usuarios. Las estufas suelen estar subsidiadas; muchas veces los gobiernos y/o las asociaciones civiles brindan los materiales de construcción y solo la mano de obra corre por cuenta del usuario (Nuñez, S/F). Desde la década de los ochenta ha habido iniciativas por parte de depen-



Fig. 2.13 Elaboración de tortillas con un fogón tradicional en Tanaco, Michoacán.

Fotografía cortesía de Cynthia Armendáriz y Michael Johnson.

dencias del gobierno de los tres órdenes (municipal, estatal y federal) y de varias decenas de ONG's para distribuir estufas ecológicas, manuales de construcción y folletos⁵, con mayor presencia en los Estados de México, Michoacán, Oaxaca, Guerrero, Chiapas y San Luis Potosí (Díaz *et al*, 2011). Aunque se difunden más de 20 modelos diferentes, los más populares han sido la Lorena, la *Patsari* y la Onil. En años recientes han surgido otros modelos, algunos metálicos como *Ludeé Biche* y *Ecostufa*, otros de cemento como *Chiantli* y *Tepoznatli* y otros más de construcción *in situ* como la *Justa*, *Tonacalli* y la *Túumben K'óoben* (Berrueta *com pers*, 2014). Estos programas generalmente se desarrollan en el ámbito local o regional y forman parte de iniciativas mayores dirigidas a la restauración de bosques locales o la conservación de la biodiversidad (Masera *et al*, 2005; Díaz *et al*, 2011).

De 2007 a 2012 el Gobierno Federal implementó el Programa Nacional de Estufas Ahorradoras de Leña, impulsado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) como parte del Programa Especial de Cambio Climático (PECC). De acuerdo al 6° Informe de Gobierno de la Presidencia de la República del sexenio 2006-2012 se implementaron arriba de 400,000 mil estufas eficientes, aproximadamente 70% del total planificado (600,000). La difusión se realizó a través de programas e instancias estatales de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Comisión de Áreas Naturales Prote-

⁵ La CONAFOR ha realizado posters y manuales de construcción y GIRA ha elaborado manuales para la construcción de las *Patsari*, videos y rotafolios de sensibilización sobre temas ambientales y de salud.

gidas (CONANP), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI). Sin embargo, el programa fue criticado por valerse de proveedores con escasa experiencia en el tema, no tomar en cuenta la participación de los usuarios en la estrategia de difusión, utilizar un enfoque que no garantizó la adopción y buen uso de las tecnologías y cubrir menos del 10% de la demanda actual de estufas mejoradas (Rembio, 2011; Díaz, 2012).

Otro programa que también ha intervenido en la sustitución de fogones tradicionales (Fig. 2.13) por estufas eficientes es el Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). En México opera desde 2003 en convenio con la SAGARPA y tiene cobertura en 648 municipios de 15 estados. El PESA opera a través de Agencias de Desarrollo Rural en zonas de alta marginación y su estrategia consiste en apoyar a los usuarios mediante facilitadores técnicos que los capacitan en la construcción de estufas. Muchas de las estufas implementadas son *Patsari* y el proyecto ha contado con capacitación de GIRA en más de seis estados del país.

Desde 2003 GIRA lleva a cabo el "Proyecto *Patsari*" (Fig. 2.14), una iniciativa multi-institucional, participativa y de largo plazo encaminada al desarrollo y promoción de un modelo sustentable de consumo de leña. Inicialmente estuvo dirigida a las áreas rurales de la Meseta Purépecha pero se ha extendido a más de 20 estados de la República. El proyecto se realiza con la colaboración de los usuarios finales, micro empresarios, industrias familiares tortilleras, OSC y autoridades gubernamentales, y ha desarrollado mecanismos replicables de fortalecimiento de micro empresas, reducción de impactos ambientales y capacitación sobre los problemas de salud ocasionados por contaminación intramuros. Actualmente han sido difundidas más de 150,000 estufas (Berrueta *com pers*, 2012).

La estrategia de difusión de Helps International consiste en ventas y distribución masiva, esquemas de micro-financiamiento y financiamientos internacionales como el mercado de bonos de carbono. A la fecha han implementado alrededor de 45,000 estufas en 10 estados del centro y sureste del país (Díaz, 2012).



Fig. 2.14 Elaboración de alimentos con una *Patsari* en Uricho, Michoacán. Al fondo, una estufa de gas LP. En muchas comunidades del país ambas tecnologías se utilizan complementariamente.

Fotografía cortesía de Marco Antonio Rosas.

También se han implementado estufas a través de proyectos de organizaciones sociales de base. Un ejemplo es la cooperativa *Tosepan Titataniske*, que agrupa alrededor de 15,000 socios de ocho municipios de Puebla y que ha gestionado financiamientos para implementar más de 1,000 estufas *Onil* y aproximadamente 300 *Patsari*. Se han promovido ambos modelos para darle la oportunidad a sus socios de elegir cuál cubre mejor sus necesidades (Díaz *et al*, 2011). Esto es importante porque se ha documentado que cuando se toman en cuenta las prioridades de los usuarios, la aceptación de la tecnología es mayor (Maserá *et al*, 2005).

Monitoreo de la Ecotecnología

La evaluación y el monitoreo de las estufas por lo general se realiza únicamente en los programas de difusión de las OSC que desarrollan la tecnología. En la mayoría de los programas gubernamentales el proceso de difusión se limita a la entrega y/o instalación de los dispositivos (una muestra de ello es el Programa Nacional de Estufas Ahorradoras de Leña).

Alrededor de 30 años de experiencia internacional en la disseminación de estufas han demostrado que una de las principales barreras para el éxito de los programas es la falta de métodos sistemáticos de evaluación de las tecnologías, pues sin éstos resulta imposible determinar el grado de adopción y los impactos de la tecnología (Ruiz-Mercado *et al*, 2013; INE, 2009). El número de dispositivos implementados puede servir como referencia, pero éstos solo toman en cuenta la aceptación inicial de quien recibe la

estufa, cuando el periodo de adaptación al nuevo sistema de cocción puede durar uno o varios meses. De hecho, existen diferentes factores que pueden influir en la apropiación social de las estufas. Por ejemplo, se ha documentado que se puede favorecer la adopción cuando el usuario también cuenta con una estufa de gas LP, pues esto implica que tiene experiencia con diferentes alternativas de cocción (Maserá *et al*, 2005).

En México, GIRA y Helps International han evaluado los procesos de implementación de sus estufas, su uso y su adopción (Fig. 2.15). Ambos han obtenido grados de adopción de hasta 95% en algunas comunidades. Complementariamente, en el CIEco se desarrolló un protocolo para evaluar el uso de las estufas en tiempo real mediante el uso de sensores electrónicos de bajo costo, denominados SUMs por sus siglas en inglés (*stove use monitor*) (Ruiz-Mercado *et al*, 2013), con lo que se pretende obtener información estadística confiable y objetiva acerca del uso y adopción de éstas.

Cocinas solares

Las cocinas solares u ollas solares son otra alternativa para la cocción rural. Como su nombre indica, estos dispositivos utilizan únicamente radiación solar, ya sea concentrándola con un reflector parabólico o captando la radiación infrarroja en un caja aislada (FCPA, 2005; Hernández, SF; Rincón, 2008). Aunque las cocinas solares no cubren por completo la necesidad de cocción de alimentos (no se pueden hacer tortillas



Fig. 2.15 Monitoreo de estufas mejoradas en la localidad de Taretan, Michoacán.

Fotografía cortesía de Lucía Martínez.



Fig. 2.16 Horno y comal solares Tolakatsin.

Fotografías cortesía de Calentadores Solares Tolokatsin.

ni cocinar en días nublados), su uso representa un ahorro en el consumo de leña (López-Sosa, 2013; González-Avilés *et al*, 2013).

Desarrollo de la Ecotecnología

Las primeras acciones de implementación de las cocinas solares en México se llevaron a cabo en el año 1955 y fueron promovidas en Nuevo León por la Universidad de Wisconsin mediante una donación de 20 estufas solares. El objetivo de dicho proyecto consistía en reducir el consumo de leña; sin embargo, las evaluaciones sobre el uso de las estufas llevadas a cabo un mes posterior a la entrega indicaron que las estufas habían dejado de usarse y se encontraban dañadas.

Para el año 1995 investigadores de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) desarrollaron una cocina solar tipo caja, la cual consistía en una estructura térmicamente aislada que estaba recubierta por espejos y permitía concentrar el calor. Éste prototipo cocinaba alimentos en intervalos de tiempo de 1.5 a 3 horas (González-Avilés *et al*, 2014).

Asimismo, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) desarrolló un horno y comal solar llamados “Tolokatsin” (Fig. 2.16). El horno solar cuenta con un concentrador multicompuerto (CMC) y con una serie de espejos y lentes; el comal solar consiste en una plancha horizontal que puede ser metálica o cerámica que concentra la radiación solar y permite preparar alimentos (Rincón, 2006).

Entre las experiencias más significativas de distribución y desarrollo de ollas solares en México se encuentran los proyectos Olla Solar y Vida Rural

Sustentable del Programa Energía y Biodiversidad del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN) y otras OSC, a través de los cuales se han implementado 12,080 ollas solares (Fig. 2.17) en 13 Estados (Quintana Roo, Tabasco, Querétaro, Baja California Sur, Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, Puebla, Oaxaca, San Luis Potosí, Veracruz, Tlaxcala y Chiapas) desde 2004, en que comenzó el proyecto Ollar Solar, hasta la actualidad (FMCN, 2008; Cisneros, 2014). En el proyecto Vida Rural Sustentable, creado por el FMCN en 2009, se distribuyen otras



Fig. 2.17 Olla solar difundida por el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.

Fotografía cortesía de Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.

tecnologías para la cocina, la casa y la comunidad, entre ellas la estufa ahorradora Túumben K'óoben, la cual está en proceso de certificación por Microsol para la venta de bonos de carbono en el mercado voluntario (FMCN, 2009; Cisneros, 2014).

Otra experiencia significativa es la de los prototipos desarrollados por la Universidad Intercultural Indígena (UIIM) (**Fig. 2.18**), los cuales han sido mejorados constantemente en cuanto a su funcionalidad, higiene y movilidad (González-Avilés *et al*, 2013; ANES, 2012). Como resultado de dichas modificaciones se creó la Cocina Solar *Jorhejpatarnskua* (CSJ) (López, 2012).

Como estrategia para el manejo de los recursos, teniendo en cuenta tanto la reducción del uso de combustibles convencionales como la extracción de recursos maderables, el Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP) financió la implementación de 50 CSJ en la comunidad indígena de Santa Fe de la Laguna. Posteriormente otras instituciones como la SEMARNAT, el Programa de Conservación Comunitaria de la Biodiversidad (COINBIO) y la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) del Estado de Michoacán apoyaron la implementación de 25 dispositivos más en esta misma comunidad (López-Sosa, 2012).



Fig. 2.18 Cocina solar CSJ desarrollada por la UIIM.

Fotografías cortesía de Cocina Solar UIIM.

Validación de la Ecotecnología

Una limitante para estandarizar las pruebas que evalúan el funcionamiento de las cocinas solares es que dichas pruebas están en función de las condiciones ambientales, y el uso de las cocinas solares no se restringe únicamente a un lugar. Al tener una amplia variedad de cocinas que aprovechan la energía del sol, surge la necesidad de compararlas cuantitativa y cualitativamente. Aunque existen normas internacionales, generalmente se tienen que utilizar varias de ellas puesto que su aplicación se limita a factores cualitativos o cuantitativos⁶ solamente.

La norma “ASAE S580” (*American Society of Agricultural Engineers* por sus siglas en inglés) fue creada para establecer una medición objetiva, significativa y sencilla, de modo que fuera posible aplicarla en diferentes contextos y tener resultados que fueran comparables entre sí (González-Avilés *et al*, 2014). Esta norma establece un procedimiento para llevar a cabo pruebas térmicas permitiendo establecer la potencia de cocción (González-Avilés *et al*, 2014).

La Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos (RICSA) y el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) desarrollaron un protocolo para evaluar de forma estandarizada las cocinas solares. Los aspectos a tomar en cuenta son:

- Descripción física de la cocina
- Aspectos ergonómicos y de seguridad
- Calidad de materiales y evaluación del mantenimiento
- Evaluación del comportamiento térmico

Aunque los cuatro criterios anteriores permiten evaluar las cocinas solares y compararlas, representan solo una aproximación general. Para asegurar una apropiación exitosa de la ecotecnología se deben tomar en cuenta aspectos tales como la simplicidad de construcción y los materiales utilizados, la posibilidad de reparación en caso de fallas, y la facilidad de manipulación y limpieza diaria. Un estudio completo debe involucrar un diseño estético y a la vez económicamente accesible, y tener una idea previa del contexto cultural en el que se planea implementar.

⁶ Uno de los procedimientos más conocidos y utilizados para la evaluación de la potencia de cocción en las cocinas solares es el establecido en un trabajo realizado por Funk y Larson en 1998: *Parametric model of solar cooker performance*.



Fig. 2.19 Capacitación bilingüe español-purépecha sobre cocinas solares a grupos de mujeres indígenas en Santa Fe de la Laguna.

Fotografía cortesía de Cocina Solar UIIM.

Difusión de la Ecotecnología

Las cocinas solares tienen un potencial de uso elevado, sin embargo la falta de conocimiento sobre su funcionamiento limita su utilización. La mayor difusión de las cocinas solares se está llevando a cabo dentro de eventos relacionados con la energía solar y las ecotecnias, tanto en instituciones académicas como en ferias.

La empresa “*Tolokatsin*” se dedica a difundir su tecnología en ferias de conocimiento de instituciones académicas o dentro de eventos relacionados con la energía solar. Las demostraciones en dichos foros les han permitido ampliar su mercado.

Dentro del ámbito rural la difusión de esta ecotecnia se ha debido al desarrollo de programas apoyados por el gobierno, organizaciones sociales y ambientales. Un caso es el de la UIIM, que a través del programa “Implementación de Ecotecnologías en comunidades indígenas como estrategia para la conservación de los recursos forestales” contó con apoyo gubernamental y de la misma universidad (González-Avilés *et al*, 2013). Para la implementación de las cocinas solares se diseñaron manuales y se realizaron talleres de capacitación bilingües (español y purépecha) sobre el uso mantenimiento y construcción de la tecnología (González-Avilés *et al*, 2014). (**Fig. 2.19**).

Asimismo, el FMCN ha realizado acciones en apoyo de asociaciones civiles con proyectos en diferentes estados de la República, dirigidos a la promoción de diferentes ecotecnias.

Existe además una amplia oferta de información para construir cocinas solares caseras. Una gran par-

te de la información disponible en internet es más didáctica que práctica, debido al tipo de materiales utilizados y a que tampoco hay datos que especifiquen la temperatura que se puede alcanzar o el tipo de alimentos que se pueden cocinar en ellas. También se elaboraron manuales en formato físico que están dirigidos al público en general y tratan temas de ecotecnias que se pueden realizar en casa.

Monitoreo de la Ecotecnología

Las cocinas solares no cuentan con un método de evaluación estandarizado; las normas que se aplican a dicha ecotecnia van dirigidas a su fabricación y eficiencia, mas no a su adopción. Es por ello que los esfuerzos de proyectos como el de la UIIM y del FMCN son experiencias valiosas que permiten contar con una base para evaluaciones posteriores.

El trabajo realizado por la UIIM incluye, además de la implementación, la realización de monitoreos con el objetivo de conocer el uso y mantenimiento que los beneficiarios dan a las CSJ (González-Avilés *et al*, 2014). Dichos monitoreos han arrojado información muy útil para la adaptación de los dispositivos a las necesidades de los usuarios. Algunos de los datos recabados en entrevistas reafirman la necesidad de tener material de difusión de acuerdo al contexto social.

Por su parte, el FMCN realiza monitoreo del uso y aplicación de las ollas solares junto con OSC por medio de visitas, entrevistas y reuniones de trabajo. Gracias a lo anterior ha podido documentar el nivel de uso, que va desde un 35% a un 50% de uso constante (2-3 días por semana), 30% de uso eventual (1 vez por semana) y solo un 20% de personas que no la utilizan.

Conservación de Alimentos

Deshidratadores Solares

Los deshidratadores solares son dispositivos que utilizan la radiación solar para calentar aire y así retirar el agua de los tejidos de productos como frutas, verduras, semillas, carne, hierbas o madera (**Fig. 2.20**). Una vez deshidratados, los alimentos pueden conservarse secos hasta por un año sin perder sus propiedades nutritivas, bromatológicas y organolépticas (CONAFOR, 2008; Vargas-Medina, 2013). La deshidratación solar es una alternativa renovable para la micro-industria y un mecanismo de desarrollo económico para pequeños productores hortofrutícolas.

México es uno de los principales productores en el mundo de frutas y verduras. Sin embargo, se estima que cerca del 40% de la producción nacional no llega a los consumidores por diferentes causas como la falta de capital, la debilidad de los canales de comercialización y distribución y la ausencia de tecnologías que permitan dar valor agregado a los productos agrícolas. La mayoría de estas pérdidas impactan a pequeños productores, quienes muchas veces carecen de apoyos financieros y asistencia técnica adecuada. Se calcula que el 50% de estas pérdidas, es decir, 6,462,054 toneladas al año, podrían ser procesadas mediante deshidratación solar para aumentar su vida de anaquel y así diversificar la fuente y magnitud de ingresos de los productores (Vargas-Medina, 2013) (**Tabla 2.2**).



Fig. 2.20 Rodajas de frutas en charola para deshidratación.
Fotografía cortesía de Diana Díaz de León.

Desarrollo de la Ecotecnología

Las dimensiones y materiales con los que se construyen los deshidratadores pueden variar. Para uso doméstico, por ejemplo, no necesariamente se requiere manufactura técnica especializada. De hecho, algunos usuarios construyen sus deshidratadores con materia-

les sencillos y baratos bajo la guía de manuales a los que pueden acceder con facilidad a través de medios electrónicos u otras fuentes. Sin embargo, lograr una deshidratación adecuada de los distintos tipos de fruta requiere un ajuste específico de parámetros, como las condiciones del calentamiento y el flujo de aire.

Cultivo	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Valor Producción (Miles de \$)
Aguacate	142,146	126,598	1,264,141	18,136,404
Chile Verde	152,742	144,391	2,131,740	12,099,214
Tomate Rojo (Jitomate)	53,780	44,932	1,872,482	10,336,853
Limón	166,580	149,608	2,132,922	6,305,659
Plátano	77,304	74,284	2,138,687	6,163,079
Naranja	335,472	330,175	4,079,678	5,903,848
Mango	184,768	175,674	1,536,654	4,059,595
Zarzamora	11,297	10,724	135,563	3,602,016
Papaya	16,984	14,222	634,369	2,541,107
Fresa	7,005	6,978	228,900	2,514,609
TOTAL	1,148,079	1,077,585	16,155,135	71,662,385

Tabla 2.2 Productos de mayor valor económico en fresco y deshidratados en México.

Fuente: Vargas-Medina (2013) con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de 2011.

Una de las ventajas que la deshidratación solar ofrece es que la inversión inicial que requiere es menor que la de otros procesos como la deshidratación con gas o la liofilización. En México se han diseñado y se difunden varios modelos de deshidratadores solares comerciales; los “de colector y armario” son comunes (Ver Fig. 2.21). Hay también modelos híbridos que combinan la energía solar con gas o electricidad.

Algunas instituciones académicas han participado en el estudio e innovación de deshidratadores solares con diferentes pruebas y prototipos. Entre ellas, el Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán (CIDEM) –que ya no se encuentra en funciones–, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, la Universidad Politécnica de Chiapas (UPCH) y el Instituto de Energías Renovables (IER) de la UNAM (antes llamado Centro de Investigación en Energía – CIE). Los diseños pro-

bados incluyen dispositivos estacionarios y portátiles, de deshidratación directa⁷, indirecta y mixta, de funcionamiento térmico-fotovoltaico y de circulación de aire natural y forzada para el secado de café, quesos, quelites, hongos comestibles, frutas y más. Sin embargo, ningún prototipo ha tenido difusión masiva hasta ahora (Berrueta 2003; Berrones *et al*, 2008; Vargas-Medina, 2009; Pilatowsky, 2009; Iglesias *et al*, 2011; Vidal *et al*, 2012).

Empresas privadas del ramo de las energías renovables también han diseñado y comercializado sus propios modelos de deshidratadores solares semi-industriales, dirigidos a pequeñas y medianas empresas (PyMES). Estos modelos suelen estar diseñados para capacidades determinadas pero pueden ser personalizados de acuerdo con las necesidades del usuario. Algunas de estas empresas están ligadas al desarrollo e innovación tecnológica. Una de ellas, BioRenaces, ha llevado a cabo una investigación científica de más de diez años y ha diseñado, construido y caracterizado cinco tipos de deshidratadores solares de capacidades que van desde los 3 kg hasta los 2,600 kg de producto fresco por carga. Otras, como Bretcon y SAECSA han desarrollado deshidratadores híbridos que funcionan con energía solar y gas LP.

Validación de la Ecotecnología

Actualmente no existen certificaciones ni actores involucrados en la validación de esta tecnología. La garantía de su correcto funcionamiento corre por cuenta del distribuidor. Sin embargo, algunos modelos, desarrollados a partir de investigaciones científicas tienen respaldo académico.

Existen iniciativas en la academia que intentan evaluar los beneficios de los deshidratadores solares, por ejemplo, metodologías para estimar la disminución en la emisión de GEI. También se han aplicado pruebas a los deshidratadores solares que evalúan y comparan con métodos tradicionales de deshidratación la eficiencia de los dispositivos y sus curvas de secado. Se ha demostrado que esta tecnología es viable económicamente; sin embargo, para potenciar sus aplicaciones micro-industriales (que requie-



Fig. 2.21 Deshidratador solar comercial de colector y armario para uso doméstico.

Fotografía cortesía de Omar Xavier Masera Astier.

⁷ En los procesos de deshidratación directa los productos se exponen directamente a la radiación solar; en los deshidratadores solares indirectos el sol crea un flujo de aire caliente que deshidrata los alimentos, mientras que los equipos mixtos combinan ambos métodos con colectores y armarios traslúcidos.

ren productos de buena calidad y presentación) es indispensable evaluar y garantizar sistemáticamente el diseño y funcionamiento de los deshidratadores. (Berrueta *et al*, 2003; Berrones *et al*, 2008; Vargas-Medina, 2009; Iglesias *et al*, 2011; Vidal *et al*, 2012).

Difusión de la Ecotecnología

Los usuarios pueden adquirir un deshidratador solar a través de las empresas que los comercializan o bien mediante mecanismos de difusión sin fines de lucro. Existen varios sitios web que ofrecen manuales sencillos de deshidratadores caseros y en algunos incluso se muestran deshidratadores contruidos con materiales locales o de desecho.

También ha habido programas gubernamentales dedicados a difundir esta tecnología. En 2005 el Gobierno del Estado de Michoacán, en colaboración con la Secretaría de Desarrollo Rural y con base en la investigación del CIDEM, instaló 200 deshidratadores caseros. La difusión de los dispositivos estuvo acompañada de talleres prácticos y se hizo a través de Comités de Desarrollo Comunitario (Vargas-Medina *et al*, 2009). En 2008 CONAFOR elaboró un manual con los beneficios y el procedimiento para construir un deshidratador solar casero y en Sinaloa la Fundación Produce, en colaboración con SAGARPA y el gobierno estatal, ha llevado a cabo acciones para difundir las técnicas de deshidratado que aumenten el potencial de comercialización y den valor agregado a los productos agrícolas (Pérez, 2010). Han realizado talleres demostrativos y publicaron una memoria de capacitación sobre las técnicas de deshidratado de mango, y otra sobre la elaboración de productos deshidratados de nopal verdura.

Aunque hay empresas de sistemas fotovoltaicos y termosolares que también comercializan deshidratadores solares caseros, esta tecnología todavía no tiene una presencia importante en el mercado. Entre los consumidores potenciales de las empresas generalmente no se considera a los productores rurales con bajo poder adquisitivo, y aunque existen opciones viables de micro-financiamiento, el conocimiento de la tecnología no está muy difundido. Algunas organizaciones, además de la comercialización de los dispositivos tienen programas de capacitación, investigación aplicada y colaboración con programas gubernamentales. Otros difusores de la tecnología son instructores independientes que imparten cursos y talleres participativos, OSC y centros demostrativos de tecnologías alternativas (**Fig. 2.22**).

Aunque se ha sugerido que esta tecnología es adecuada para pequeños productores en comunidades de difícil acceso y/o escasos recursos económicos, hasta ahora no ha habido estrategias de alto impacto para la difusión masiva de deshidratadores solares de alta calidad y bajo costo. De acuerdo con Vargas-Medina, (2013b) falta conocimiento sobre el deshidratado solar de fruta y es necesario que se incentiven procesos participativos para su difusión.

Monitoreo de la Ecotecnología

Algunos autores como Berrueta *et al*, (2003) sugieren que las prácticas de innovación participativa pueden facilitar la adopción de la tecnología. En un estudio de caso en Chiapas se observó el uso de un mismo dispositivo para tareas diversas, evidencia de un proceso de adopción. Fuera de esto no se encontraron acciones de monitoreo o seguimiento que se hayan hecho a los dispositivos instalados en el país. Este paso es crítico si se quieren garantizar los impactos positivos y la aceptación de la tecnología.



Fig. 2.22 Taller sobre deshidratadores solares impartido en el marco del 1er Encuentro Nacional de Ecotecnias en Pátzcuaro, Michoacán.

Fotografía cortesía de Diana Díaz de León.

Generación de Electricidad

Aerogeneradores

Los aerogeneradores son dispositivos que generan energía eléctrica mediante turbinas accionadas por el viento que pasa a través de sus aspas⁸. Esta tecnología se mantuvo en un perfil muy bajo en México hasta la implementación del primer parque eólico en 1994 en el Estado de Oaxaca (del Campo-Márquez *et al*, 2009); cerca de diez años después resurgió el interés de la iniciativa privada por desarrollar proyectos a gran escala. La capacidad instalada pasó de 2 MW en 1994 a 773 MW en 2012 (SENER, 2012b).

México cuenta con un potencial eólico suficiente para cubrir la demanda de energía del país (Garduño *et al*, 2012). Aunque las estimaciones varían, diferentes estudios señalan un potencial nacional por encima de los 40GW (King *et al*, 2011). La región del Istmo de Tehuantepec en el sur del país es una de las zonas con mejores condiciones eólicas en el mundo. Sin embargo, mientras que los parques eólicos con turbinas de gran tamaño han recibido mucha atención por su potencial comercial, los esfuerzos para difundir la tecnología a pequeña escala han sido muy escasos.

Desarrollo de la Ecotecnología

El sector eólico en México se compone de tres grupos: los desarrolladores de proyectos que realizan estudios y obtienen financiamientos, los fabricantes de equipos y los proveedores de servicios (Páez, 2011). Actualmente la iniciativa privada domina los tres sectores y lidera las inversiones a gran escala (Fig. 2.23).

El modelo tecnológico adoptado por el país implica una fuerte dependencia de la importación de tecnología y servicios del extranjero. No existe una industria nacional de aerogeneradores y las licencias, conocimientos técnicos, servicios financieros y la mayor parte de la tecnología provienen de corporaciones transnacionales (Castillo, 2011). Ante esta necesidad de desarrollar tecnología nacional para el sector eólico a futuro, el Gobierno Federal instaló un Centro Regional de Tecnología Eólica (CERTE) en el municipio de Juchitán, Oaxaca. Es el primer productor pequeño de energía eólica en México que cumple los

⁸ La energía eólica también se ha utilizado desde la antigüedad para usos mecánicos como bombear agua o para mollienda de granos. Actualmente el bombeo de agua constituye todavía un uso importante de esta energía. Sin embargo, no se considera en el presente trabajo.

términos legales establecidos por la Comisión Reguladora de la Energía (CRE) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) (IIE, 2010).

El CERTE se encuentra a cargo del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) de la UNAM, el cual cuenta con gran experiencia en el tema. En el IIE se han construido y operado sistemas eólicos con el objetivo de conocer las ventajas y limitaciones de la tecnología y validar su integración al sistema eléctrico nacional (IILSEN, 2004).

En la última década, en México la aplicación de esta tecnología ha sido centralizada y a gran escala. A pesar de ello, existen experiencias con aerogeneradores de pequeña escala. El Centro de Estudios de Energía del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) Campus Monterrey desarrolló un modelo de aerogenerador doméstico de bajo costo, adecuado para zonas rurales de alta marginación y orientado a la solución de necesidades locales. El dispositivo se caracteriza por ser una tecnología sencilla, de fácil operación y mantenimiento y construida con materiales accesibles para los usuarios. De acuerdo con un folleto informativo elaborado por el mismo centro, en México existen 70,900 comunidades rurales que se podrían beneficiar con el dispositivo.



Fig. 2.23 Parque eólico La Venta, Juchitán, Oaxaca.
Fotografía cortesía de Diego Ponce de León (dleonb.com).

La empresa Osecam también ha desarrollado un aerogenerador de pequeña escala, diseñado para aprovechar vientos de baja intensidad. Este modelo salió al mercado en 2012 y es una opción viable para empresas y locales comerciales con consumo alto de energía. Cuenta con un diseño más sofisticado que el dispositivo del ITESM y no está hecho para ser cons-

truido por los mismos usuarios. Los aerogeneradores tienen el potencial de impulsar el desarrollo de comunidades rurales marginadas y aisladas de la red eléctrica. Sin embargo, para que esto sea posible es necesario orientar los esfuerzos de innovación y desarrollo tecnológico al aprovechamiento eólico en pequeña escala y a la resolución de necesidades locales.

Validación de la Ecotecnología

La CRE y la CFE cuentan con normas que reglamentan los grandes parques y centrales eólicas. No se encontraron certificaciones que regulen las instalaciones de pequeña escala; el mercado, la oferta y la capacidad instalada son aún muy limitados. Tampoco se encontró ningún tipo de certificación nacional que garantice los beneficios ambientales de los aerogeneradores. En la mayoría de los proyectos a gran escala solo se estiman los beneficios económicos para los inversionistas y la mitigación de emisiones de GEI.

A pesar de que esta tecnología se reconoce por ser una alternativa ecológica, se han documentado impactos negativos a grupos de aves migratorias en el Istmo de Tehuantepec (Grosselet y Grosselet, 2011).

Una evaluación integral de esta tecnología y sus aplicaciones es necesaria para entender sus impactos sociales, económicos y ambientales. Arrúa y Villareal (2006) evaluaron índices de sustentabilidad en uno de los proyectos más representativos a nivel nacional y encontraron beneficios sociales nulos para la población local. Es importante que se establezcan certificaciones que tomen en cuenta las implicaciones locales de la infraestructura eólica.

Difusión de la Ecotecnología

Para las aplicaciones a gran escala el modelo industrial eólico ha sido el más difundido por los medios de comunicación y la opinión pública en México durante la última década. En este modelo la central eólica hace llegar la energía a los usuarios finales por medio de la red eléctrica. La falta de infraestructura que permita integrar la electricidad generada por las centrales eólicas a la red eléctrica pública ha causado que la iniciativa privada tenga que invertir en ésta para poder llevar a cabo sus proyectos (Barbará, 2009; Reuters, 2009). Algunos de los compradores de la energía generada por las centrales eólicas son gobiernos, industrias locales y nacionales y sociedades comerciales.

Un impulsor importante de la energía eólica en México ha sido la Asociación Mexicana de Energía

Eólica (AMDEE), que a través de foros y eventos ha promovido los negocios en el ramo y la formulación de políticas públicas para la producción de energía mediante parques y centrales eólicas. Esta asociación representa a los desarrolladores de proyectos eólicos ante las autoridades, sectores económicos y sociedad en general.

A pequeña escala, las empresas privadas son los principales importadores y comercializadores de aerogeneradores y turbinas eólicas. Éstos se usan para actividades domésticas de autoconsumo y, raramente, para actividades productivas, como en Chihuahua y Sonora, donde se bombea agua en localidades rurales aisladas usando energía eólica (IILSEN, 2004). La capacidad de una turbina de aplicación residencial generalmente fluctúa entre 400 W y 100 kW. Para que esta tecnología resulte accesible, sobre todo a quienes no tienen acceso a la red nacional eléctrica, son necesarias nuevas estrategias. En el año 2000 la empresa Gold Transition Consulting determinó mediante un estudio de mercado que en ranchos sin acceso a electricidad en Oaxaca hay un alto potencial de comercialización de sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos; es una alternativa costo-efectiva ya que se trata de una región con mucho viento y demanda de energía para tareas como el bombeo de agua.

En 2009 el Grupo para Promover la Educación y el Desarrollo Sustentable, A.C. (GRUPEDSAC) instaló 41 aerogeneradores domésticos en comunidades marginadas del municipio de Ejutla, Oaxaca (ALSTOM, SF). El modelo instalado (**Fig. 2.24**) es una variante híbrida (con un panel fotovoltaico integrado) del sistema desarrollado por el ITESM. Se dieron talleres participativos para que los usuarios aprendieran a construir e instalar sus propios equipos (Saucedo *et al.*, 2009; Huesca, 2011). Aunque el proyecto benefició solamente a alrededor de 300 usuarios, es un caso sobresaliente de innovación por adecuar la difusión de la tecnología a las condiciones socioeconómicas y ambientales locales.

Este modelo de aerogenerador híbrido también ha sido difundido a través de talleres abiertos al público (**Fig. 2.25**), en el Centro demostrativo Instituto *Tonantzín Tlalli* (ITT) (en la misma localidad) y en el campus del ITESM. Las OSC han estado poco involucradas en la difusión de esta tecnología y el apoyo financiero de fundaciones nacionales y extranjeras ha sido necesario para que iniciativas como la de Ejutla sean posibles.



Fig. 2.24 Sistema autónomo híbrido (eólico-solar).
Fotografía cortesía de GRUPEDSAC.

Monitoreo de la Ecotecnología

Debido a que son escasas las iniciativas de difusión de aerogeneradores a pequeña escala, los esfuerzos de monitoreo son casi nulos. Únicamente se documentó la asistencia técnica de GRUPEDSAC a los usuarios de los aerogeneradores implementados en Ejutla y la asistencia técnica que Osecam ofrece en general a sus clientes.



Fig. 2.25 Taller de construcción de aerogeneradores a pequeña escala.

Fotografía cortesía de GRUPEDSAC.

Paneles Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos son sistemas integrados por módulos de celdas que transforman la radiación solar en corriente eléctrica. El territorio mexicano cuenta con un gran potencial para el aprovechamiento de la energía solar. La irradiación diaria varía entre 4.4 kWh/m² y 6.3 kWh/m² (Romero-Hernández *et al*, 2012), con lo cual bastaría con una superficie fotovoltaica de entre 600 y 1,000 km² para satisfacer la demanda eléctrica del país (Alatorre, 2009; Romero-Hernández *et al*, 2012).

Al igual que las demás tecnologías de producción eléctrica descentralizada, los sistemas fotovoltaicos son de importancia especial porque pueden resolver varias necesidades a la vez, como calefacción, cocción, iluminación o bombeo de agua. Esta tecnología se ha difundido en México desde la década de los setenta y gran parte de los módulos instalados se encuentran en localidades aisladas de la red eléctrica (**Fig. 2.26**). Para 2011 ya se contaba con una capacidad nacional instalada de 32 MW (SENER y GIZ, 2012).

Desarrollo de la Ecotecnología

En México el desarrollo de celdas fotovoltaicas ha sido prácticamente nulo y aunque se han elaborado sistemas nacionales, generalmente los módulos son importados de países como China, Alemania, Japón y Estados Unidos.

En la década de los setenta el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) instaló una planta piloto de fabricación de módulos fotovoltaicos, uno de los esfuerzos más sobresalientes en cuanto al desarrollo de tecnología fotovoltaica mexicana. A pesar de que se crearon módulos y sistemas que fueron uti-

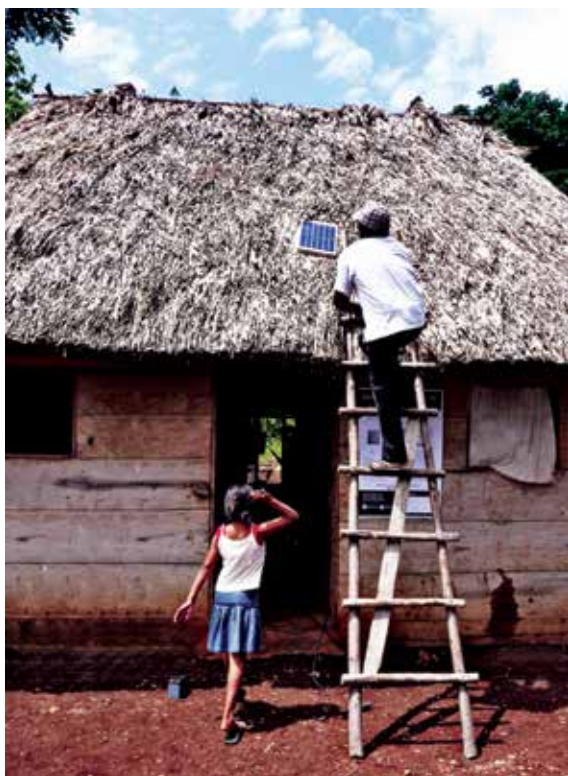


Fig. 2.26 Sistema fotovoltaico implementado en una vivienda rural.
Fotografía cortesía de Iluméxico.

lizados en aplicaciones como instalaciones radiotelefónicas, telesecundarias, clínicas y albergues rurales (Morales, 1996; Matsumoto, 2011), la planta fue cerrada por falta de apoyo económico e incentivos públicos. Con este antecedente, desde la década de los noventa ha crecido la discusión en torno a la necesidad de políticas que permitan contar con una industria nacional que pueda satisfacer la demanda del país. A diferencia de otros países que también carecen de industria fotovoltaica, en México ésta contaría con una experiencia académica de más de tres décadas, en las que varios científicos mexicanos han incursionado en investigación básica y aplicada.

Morales (1996)⁹ menciona que sin una planeación adecuada para impulsar el desarrollo de tecnología fotovoltaica, los esfuerzos seguirán siendo vanos. También comenta que la investigación y desarrollo sobre estos sistemas necesita involucrar grupos mul-

⁹ Aunque el documento citado es originalmente de 1996, en 2006 el autor retomó el tema al considerar que los argumentos continuaban vigentes.

tidisciplinarios que en México aún no se han desarrollado bajo un enfoque integral. Por fortuna, recientemente se han desarrollado investigaciones y proyectos enfocados en la promoción y búsqueda de nichos de oportunidad para la implementación de la tecnología. La organización de mayor reconocimiento en cuanto a investigación sobre el tema es la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), la cual promueve la discusión de ideas, intercambio de resultados y en general la divulgación y promoción de la energía solar fotovoltaica.

Validación de la Ecotecnología

La Asociación Nacional de Normalización y Certificación (ANCE) fue la única documentada para validar actores involucrados con tecnología fotovoltaica. Esta organización expide una certificación a empresas interesadas en pertenecer a un registro que las avale como proveedores confiables en la instalación de sistemas fotovoltaicos para el desarrollo rural. La ANCE también cuenta con una certificación dentro del marco del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), aplicable a vendedores de sistemas fotovoltaicos para el bombeo de agua.

Hasta ahora no hay ninguna norma o protocolo que establezca las especificaciones técnicas en cuanto a eficiencia y calidad de los paneles fotovoltaicos (Ortigoza, 2011). La ausencia de un instrumento de validación de los módulos implica que sea complicado determinar la calidad de los dispositivos que se importan y comercializan en el país. La creciente difusión y accesibilidad de esta tecnología vuelve crítica la generación de herramientas que garanticen el buen desempeño de los módulos. Obviar esta situación puede traer complicaciones al avance del mercado de los paneles fotovoltaicos, al impacto de los proyectos de electrificación rural y a la percepción social de esta tecnología.

Difusión de la Ecotecnología

Buena parte de la diseminación de sistemas fotovoltaicos en México se ha llevado a cabo mediante programas gubernamentales enfocados a promover el desarrollo rural en comunidades aisladas carentes de infraestructura básica. Ésta ha sido la opción menos costosa para lograr la electrificación de estas localidades donde las aplicaciones energéticas tienen alto valor y bajo consumo, como la iluminación y el uso de aparatos electrónicos (Alatorre, 2009). Durante la década de los noventa el Programa Nacional de Soli-

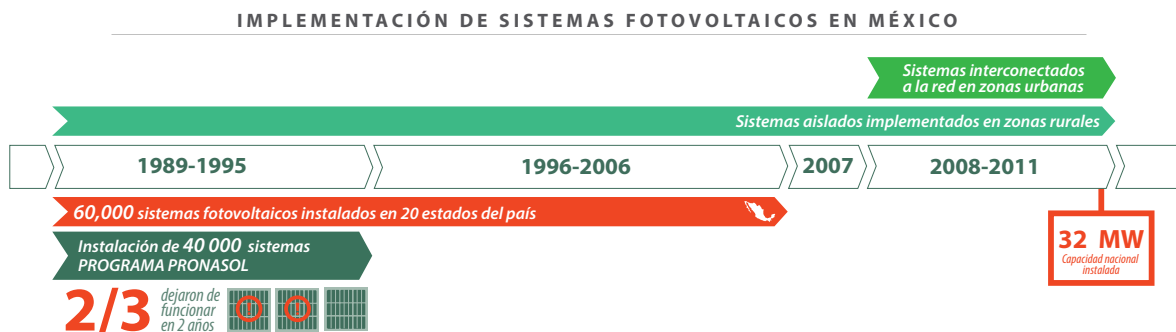


Fig. 2.27 Línea de tiempo sobre la implementación de sistemas fotovoltaicos en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de Foster y Cota (2005), SENER et al, (2006) y SENER y GIZ (2012).

daridad (PRONASOL) para combatir la pobreza incluyó entre sus acciones la electrificación rural mediante energía fotovoltaica (Ver **Fig. 2.27**). En el sexenio de 1989 a 1994 se instalaron más de 40,000 sistemas fotovoltaicos subsidiados por el gobierno (IILSEN, 2004; Foster y Cota, 2005), y otros 10,000 de iniciativa privada (IILSEN, 2004), especialmente en el sur del país. En el Estado de Chiapas se instalaron más de 12,000 sistemas y para el 2006 ya se habían instalado más de 60,000 sistemas fotovoltaicos en 20 estados del país (SENER y GTZ, 2006), todos ellos en comunidades aisladas de la red eléctrica (SENER y GIZ, 2012).

Actualmente continúan ejecutándose programas en los que se implementa esta tecnología, la mayoría promovidos por administraciones públicas estatales e instancias federales como la SEDESOL y la CFE. Se han llevado a cabo nuevos programas a partir de la colaboración de actores de los distintos órdenes de gobierno. El Proyecto de Servicios Integrales de Energía (SIE)¹⁰ para Pequeñas Comunidades Rurales en el Sureste de México se implementa desde 2009 con el objetivo de dotar de electricidad a 50,000 viviendas dentro de los municipios de menor índice de desa-

rollo humano de estados como Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz. En éste han participado OSC, universidades y empresas desarrolladoras de proyectos de energías renovables. El programa pretende satisfacer necesidades eléctricas de consumo doméstico e impulsar actividades productivas relacionadas con las vocaciones naturales de las comunidades.

Muchos de los programas de implementación de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales han sido financiados por instancias internacionales como el Fondo Ambiental Global del Banco Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) o la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés). Hasta ahora no ha habido una política nacional dirigida exclusivamente a la implementación masiva de paneles fotovoltaicos.

El uso de estos sistemas se ha generalizado para resolver tareas como la comunicación en sistemas de auxilio, la iluminación de carreteras federales, la provisión de energía a estaciones de sistemas de comunicación por microondas y la telefonía rural (*ibid*). De acuerdo con la Secretaría de Energía (SENER, 2003), entre 1995 y 2003 se instalaron más de 1,800 centrales telefónicas rurales con celdas fotovoltaicas, muchas de ellas con apoyo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). El bombeo de agua y la iluminación de escuelas también se han impulsado como incentivos para el desarrollo rural. En 2005 se registraron alrededor de 1,700 sistemas de bombeo de agua y 500 sistemas fotovoltaicos para escuelas en zonas rurales (Foster y Cota, 2005). Se han difundido sistemas individuales, y sistemas comunitarios (**Fig. 2.28**) para escuelas, clínicas e iglesias, entre otros (**Tabla 2.3**).

¹⁰ Las instituciones y dependencias gubernamentales involucradas en el proyecto SIE fueron: Secretaría de Energía (SENER), Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI), Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Nacional Financiera (NAFIN), Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), Gobiernos estatales y municipales, y el Banco Mundial (SENER, 2010).



Fig. 2.28 Paneles fotovoltaicos de uso comunitario.

Fotografía cortesía de Cooperativa Las Cañadas, Bosques de Niebla.

Además de las instituciones gubernamentales, algunas OSC facilitan la tecnología a las comunidades aisladas. Un ejemplo es la fundación maya Kuxkinal A.C. que, en colaboración con el Instituto Tecnológico de Cancún, elaboró un manual de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos traducido a la lengua maya. Estas dos instituciones se vinculan con comunidades marginadas de Quintana Roo para compartir experiencias y capacitación, y gestionan recursos para llevar a cabo proyectos productivos o de infraestructura enfocados a mejorar la calidad de vida de las comunidades respetando su idiosincrasia.

Cada vez hay más empresas interesadas en competir en el mercado mexicano de sistemas fotovoltaicos. La mayoría importa las fotoceldas, inversores

y otros componentes y funge de intermediaria entre desarrolladores y usuarios. Existen distribuidores que comercializan sistemas diseñados para tareas específicas como el bombeo y el alumbrado público. Varias empresas distribuidoras de la tecnología también comercializan aerogeneradores y algunas de ellas ofrecen servicios integrales de diseño y evaluación técnica-financiera. El mercado de sistemas fotovoltaicos cuenta con un gran potencial en nuestro país, sin embargo aún es incipiente. De acuerdo con la ANES, este mercado ha tenido un crecimiento gradual aunque a un ritmo menor que el de otros países. El alto costo de inversión es uno de los principales impedimentos para su difusión y competitividad con respecto a otras tecnologías (Alatorre, 2009). A pesar de ello, en las áreas rurales sin acceso a electricidad el costo de pilas y velas para iluminación puede ser mayor que la instalación de un sistema fotovoltaico (CONUEE, 2007).

El precio de los módulos en México es considerablemente alto en comparación con países como Alemania o Estados Unidos, pues hay poca demanda y los módulos se importan del extranjero (Amtmann, 2009). Además, estos dispositivos tienen que competir con los altos subsidios a la electricidad, con lo que solo son una alternativa económicamente viable para reducir el costo de la facturación eléctrica en tarifas domésticas de alto consumo, incluso a pesar de que el precio de los módulos ha decrecido en los últimos años (Amtmann, 2009; Becerra *et al*, 2010).

En años recientes también se ha promovido la tecnología fotovoltaica en zonas diferentes a las comunidades aisladas. Desde 2007 se lleva a cabo el Proyecto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red, liderado por el IIE, que ha incrementado el interés por generar energía fotovoltaica en las ciudades. Como parte de esta iniciativa se elaboró una “Guía de Usuario para Sistemas Fotovoltaicos Interconectados con la Red” e incluso se implementó un proyecto piloto en Mexicali, Baja California, en el que se construyeron 220 viviendas de interés social con características bioclimáticas y sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica. Estos incentivos están rompiendo el sesgo que había hacia las aplicaciones fotovoltaicas rurales y han abierto el mercado al sector urbano con aplicaciones domésticas y comerciales (Amtmann, 2009). De hecho, de los 2.5 MW fotovoltaicos instalados en 2011, alrededor del 94% fueron sistemas conectados a la red. Como se muestra en la Fig. 2.29, la capacidad anual instalada ha crecido en los últimos años.

Período	Sistemas fotovoltaicos implementados en México
1989-1994	50,000 sistemas fotovoltaicos mediante subsidios gubernamentales y de la iniciativa privada
1995-2003	1,800 centrales telefónicas con apoyo de SCT
90s-2005	1,700 sistemas de bombeo de agua y 500 escuelas rurales
90s-2006	60,000 sistemas fotovoltaicos en 20 estados del país

Tabla 2.3 Datos de sistemas fotovoltaicos implementados en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER (2003), Foster y Cota (2005) y CONAE (2006).

Evolución de la Capacidad Instalada y Generación de Electricidad con Sistemas Fotovoltaicos en México

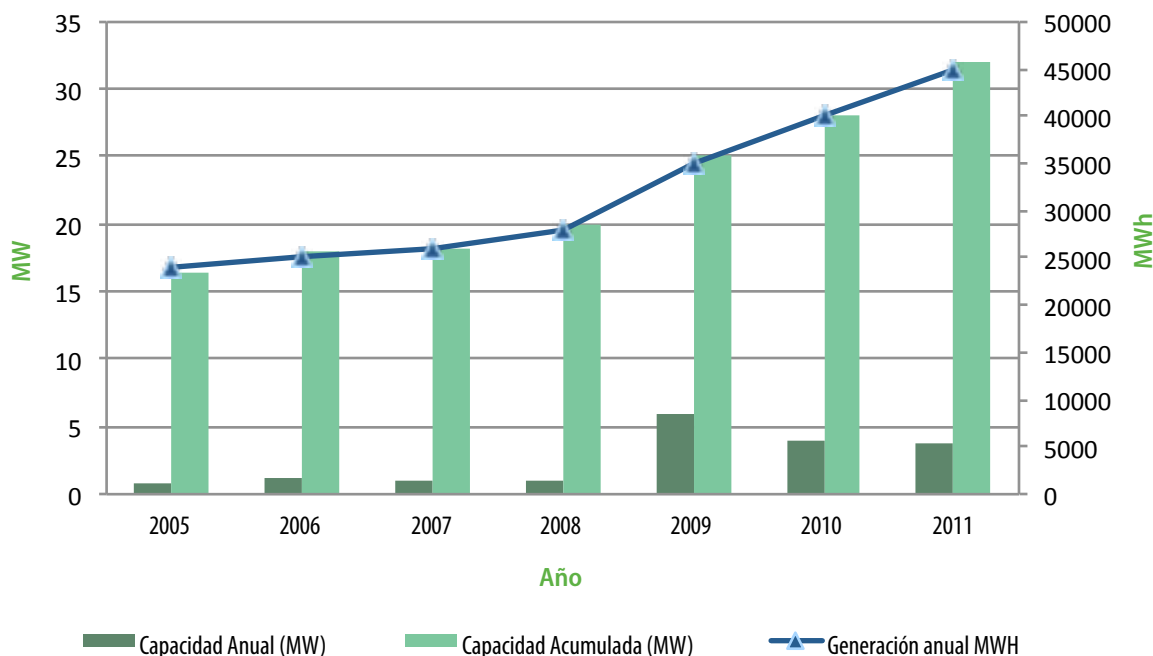


Fig. 2.29 Capacidad instalada y generación de electricidad mediante sistemas fotovoltaicos en México durante el período 2005-2011.

Fuente: SENER (2012); SENER y GIZ (2012).

Monitoreo de la Ecotecnología

Salvo el seguimiento técnico y mantenimiento que ofrecen algunas empresas, no se identificaron esfuerzos relevantes en este rubro. Cota *et al.*, (2004) realizaron estudios que demuestran altos niveles de satisfacción de parte de usuarios de sistemas fotovoltaicos en áreas rurales (Ver Fig. 2.30). Aunque estas investigaciones permiten conocer las barreras y los errores cometidos en algunos programas de difusión, no representan una iniciativa de monitoreo generalizada que garantice que los dispositivos satisfacen las necesidades de los usuarios y, más aún, que se usen adecuadamente.

La ausencia de monitoreo y asistencia técnica adecuada en los programas gubernamentales ha ocasionado el abandono de muchos sistemas fotovoltaicos rurales. Ha sido común que las comunidades se vean seriamente afectadas por la demora en la reparación

cuando se presentan fallas técnicas. En la mayoría de los casos no se capacita a los usuarios para restablecer el servicio. Esto genera retrocesos y desconfianza para la difusión de la tecnología, así como pérdidas económicas. En el caso del PRONASOL, por ejemplo, a dos años de su implementación ya no se usaban alrededor de dos terceras partes de los 40,000 sistemas implementados. De acuerdo a Cota y Foster (2005), los grandes proyectos de electrificación solar en los noventa cesaron a consecuencia del pobre desempeño de los dispositivos implementados y la mala imagen generada en torno a la tecnología.

El acceso a energía eléctrica puede tener impactos significativos en la satisfacción de necesidades humanas básicas, sin embargo, es fundamental desarrollar innovaciones que permitan el uso sostenido de las tecnologías a mediano y largo plazo, sobre todo porque el costo de inversión es alto y su retorno económico

sucede después de varios años. Se ha documentado que el éxito de los programas rurales mejora considerablemente en estrategias integrales que incluyen la satisfacción de otras necesidades básicas. La variedad de aplicaciones que tienen los sistemas fotovoltaicos

permite implementar “paquetes” de servicios como iluminación, comunicaciones y suministro de agua (Van Campen *et al*, 2000). Garantizar la adopción de esta tecnología puede contribuir a mejorar notablemente la calidad de vida de los usuarios.

Percepción de los usuarios sobre el funcionamiento de sistemas fotovoltaicos para el bombeo de agua en áreas rurales

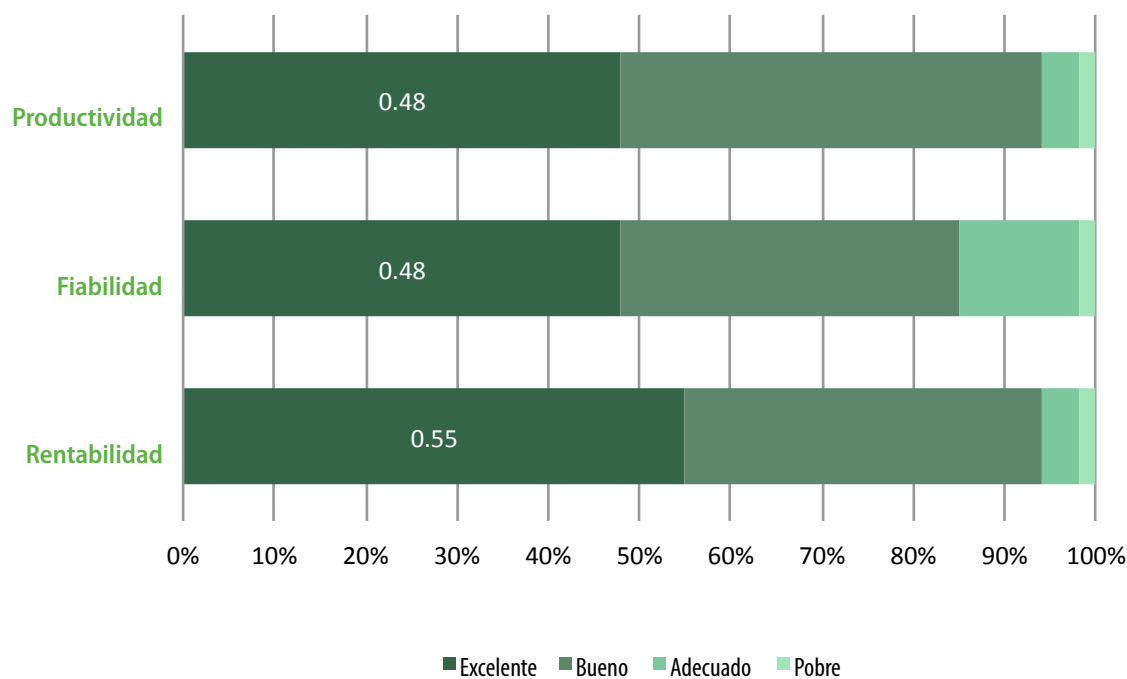


Fig. 2.30 Resultados de una evaluación sobre la percepción de un grupo de usuarios con respecto al funcionamiento de sus sistemas fotovoltaicos.

El estudio se realizó diez años después del inicio del programa en el que se instalaron y contempló 46 sistemas de bombeo de agua en localidades rurales de cuatro estados de la República Mexicana.

Fuente: Cota et al, (2004).

Plantas Hidroeléctricas de Pequeña Escala

La tecnología mini-hidráulica aprovecha la caída del agua mediante turbinas que transforman energía cinética en electricidad. Debido a que las plantas mini-hidroeléctricas son mucho más pequeñas que las centrales convencionales, los impactos ecológicos y sociales asociados pueden ser mínimos si se realiza una planificación adecuada. Se trata de alternativas renovables que pueden contribuir a la diversificación de fuentes de energía, la gestión local de los recursos y el acceso a energía limpia en zonas rurales aisladas. Para su implementación es necesario realizar estudios técnicos que permitan entender las actividades económicas de la región, y con base en ello realizar la planificación. Conociendo con antelación las necesidades de sus habitantes se pueden evitar posibles conflictos (Sierra *et al*, 2012).

En México sería posible implementar pequeñas hidroeléctricas en algunos de los principales distritos de riego, aprovechando las presas de riego y desniveles de agua. De acuerdo con la CFE, el país cuenta con 252 sitios con potencial minihídrico en las regiones del Golfo, Papaloapan, Grijalva, pacífico Norte y las costas de Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco y Nayarit (Romero-Hernández *et al*, 2010).

Aunque no existe una definición global para clasificar a las plantas mini-hidroeléctricas de acuerdo con su potencia, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) ha adoptado la siguiente categorización (VINSA, 2003; 2009):

- Micro-Hidráulica $1 < \text{KW} < 100$
- Mini-Hidráulica $100 < \text{KW} < 1,000$
- Pequeña Hidráulica $1 < \text{MW} < 30$

Las micro, mini y pequeñas hidráulicas no cuentan con presas de almacenaje como sí lo hacen las macrocentrales; por el contrario, se utilizan las caídas en los desniveles que presentan los ríos o cauces. Por sus requerimientos de altura y caudal, las turbinas Kaplan y Francis son las más adecuadas para utilizarse en pequeñas hidráulicas ya que no requieren grandes caídas ni caudales elevados, condiciones que son generalmente las más comunes en lugares cercanos a poblaciones, mientras que la turbina Pelton es la más eficiente para utilizarse en grandes caídas (Ver Fig. 2.31) (Romero-Hernández *et al*, 2010).

Desarrollo de la Ecotecnología

No existen fabricantes nacionales de plantas mini-hidroeléctricas (VINSA, 2009). Se han realizado estudios para determinar el potencial de aprovechamiento de energía mini-hidráulica en México y en 2005 la CONUEE estimó que podrían generarse 3,250 MW (SENER, 2006) a partir de centrales mini-hidráulicas en 100 sitios identificados (SENER, 2004). Instituciones como el Centro de Estudios de Energía del ITESM también han realizado estudios técnicos para determinar la viabilidad de generar alternativas que permitan el aprovechamiento de los recursos hidráulicos de bajo caudal en nuestro país. Cabe destacar que de los 11,600 MW de capacidad instalada en el país, el 99% corresponde a grandes centrales hidroeléctricas (SENER, 2012a).

Validación de la Ecotecnología

El marco regulatorio energético de México, encabezado por la Ley de Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), establece que, a diferencia del



Fig. 2.31 Ejemplo de turbinas utilizadas en sistemas hidroeléctricos.

resto de las tecnologías renovables, la energía hidráulica se considera “renovable” solo en instalaciones con una potencia instalada menor a 30MW.

No se documentaron certificaciones o iniciativas de validación de los impactos positivos de la tecnología. El marco regulatorio para la implementación de centrales mini-hidroeléctricas consiste básicamente en requerimientos necesarios establecidos para obtener contratos, títulos y permisos de instalación. En ellos se contempla la participación de la iniciativa privada en modalidades de autoabastecimiento y pequeña producción.

Difusión de la Ecotecnología

Actualmente la capacidad instalada de plantas hidroeléctricas renovables (con potencia menor a 30 MW) para servicio público es de 286.6 MW. Éstas son operadas por la CFE y están integradas por 94 unidades en 42 centrales distribuidas en 14 estados de la República (**Fig. 2.32**). Algunas de estas plantas fueron instaladas hace más de cien años y aún siguen en servicio (SENER, 2012a). La capacidad instalada de servicio no público, de acuerdo con los permisos otorgados por CRE al 31 de diciembre de 2011, es de 305.1 MW. De estas plantas, 24 tienen permiso para autoabastecimiento y tres para pequeña producción, pero solo 16 plantas se encuentran en operación (147 MW) (*ibid*). La electrificación de fincas cafetaleras ha sido una de las principales actividades para las que se han instalado micro-plantas hidroeléctricas (VINSA, 2003).



Fig. 2.32 Sistema hidroeléctrico Miguel Alemán en Valle de Bravo, Edo. de México, Ixtapantongo.

Fotografía cortesía de CFE.

Recientemente la SENER ha promovido el desarrollo de la industria de las energías renovables, el incremento de la capacidad instalada y la diversificación del portafolio energético del país (SENER, 2012b). Sin embargo, la tecnología hidroeléctrica no ha sido tomada en cuenta de la misma manera que otras como la fotovoltaica, termosolar o eólica. A la fecha no existen normas de interconexión a la red eléctrica pública, incentivos o programas de difusión para plantas mini-hidroeléctricas. Existe una iniciativa para el impulso de la energía hidráulica a nivel nacional encabezada por la Asociación Mexicana de Energía Hidroeléctrica (AMEXHIDRO), en la que se propone una meta de 1,000 MW de capacidad hidráulica renovable para el 2020 (SENER, 2013). Alcanzar este objetivo podría contribuir al desarrollo de la industria, aportando beneficios socioeconómicos y de sostenibilidad energética al país. Sin embargo, para ello se requiere la implementación de diferentes medidas regulatorias, técnicas, de infraestructura, y de sensibilización social.

Uno de los principales actores del país con respecto a esta tecnología es la firma de ingeniería Valdez Ingenieros S.A. de C.V. (VINSA), quienes han realizado buena parte de los estudios en México sobre nuevas centrales mini hidroeléctricas, así como rehabilitación y modernización de plantas ya existentes.

Monitoreo de la Ecotecnología

De acuerdo con VINSA (2003), el monitoreo para determinar con certeza la capacidad instalada y en operación, así como las condiciones de los equipos ha sido deficiente. Para difundir la energía hidráulica a pequeña escala es necesario conocer la situación actual en el tema. Es importante determinar cuáles son las necesidades y actividades productivas que se cubren con esta tecnología y conocer el porcentaje de la capacidad instalada que está en desuso, así como las condiciones necesarias para garantizar su óptimo funcionamiento y operación a largo plazo.

Iluminación

Lámparas Eficientes

En México la electricidad es el energético de mayor consumo en los hogares después del gas LP y la leña. Su principal uso es la iluminación, actividad que representa aproximadamente el 18% del consumo total de energía eléctrica en el país (SENER, 2010). En los últimos 10 años la industria internacional de la iluminación ha experimentado una revolución tecnológica (**Fig. 2.33**) con la aparición de las lámparas fluorescentes compactas (CFL por sus siglas en inglés) y los focos LED (diodos emisores de luz o *Light Emitting Diode* en inglés), los cuales son hasta 3 y 5 veces más eficientes, respectivamente, que los focos incandescentes tradicionales (Ver **Tabla 2.4**).

La iluminación es uno de los aspectos principales en las iniciativas para la mejora de la eficiencia energética en México. Los principales actores gubernamentales involucrados son la SENER, la CONUEE y el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE); estos dos últimos enfocados en la ejecución y supervisión de medidas, proyectos y programas. Hay también varios fabricantes y comercializadores involucrados en el desarrollo y difusión de la tecnología.

Desarrollo de la Ecotecnología

Los mayores fabricantes de lámparas eficientes en el país son las corporaciones transnacionales General Electric, Osram y Philips (SMA DF, 2002), que producen principalmente CFL. Estas empresas invierten continuamente en investigación para desarrollar y comercializar productos de menor consumo energético e impacto ambiental. La lógica de estas empresas responde al paradigma de la modernización ecológica descrita al inicio de este libro y, aunque cuentan con fábricas en México, más del 90% de las CFL que comercializan en el país se fabrican en China donde el precio de la mano de obra es más competitivo (Olivera, 2008).

Algunas empresas mexicanas también diseñan, fabrican e instalan lámparas eficientes, sobre todo lámparas LED, sin embargo éstas no tienen la capacidad de competir con las grandes multinacionales. A diferencia de lo que ocurre con otras ecotecnias, la innovación y desarrollo tecnológico de lámparas eficientes se lleva a cabo principalmente por empresas privadas de equipos electrónicos. No obstante, algunas instituciones públicas realizan su propia investigación al respecto. El CINVESTAV Unidad Zacatenco y el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, por



Fig. 2.33 Distintos tipos de focos, de izquierda a derecha: incandescente, fluorescente y LED.

Fotografía elaboración propia con contenido de Wikipedia, <http://www.wikipedia.org>.

ejemplo, han desarrollado innovaciones y prototipos de lámparas LED (Matus, 2009; El Universal, 2012). Se requieren políticas públicas que vinculen los esfuerzos de investigación hacia la fabricación de dispositivos nacionales.

Tecnología	Eficacia luminosa promedio (lumens/W)	Tiempo de vida (horas)
Lámparas incandescentes	7 a 20	1,000 a 2,000
Lámparas fluorescentes	30 a 61	5,000 a 45,000
Lámparas de LED	50, hasta 100	25,000 a 50,000

Tabla 2.4 Eficacia luminosa y tiempo de vida de las principales tecnologías de iluminación.

Fuente: Elaboración propia con datos de Taub (2009) y López y Reyes (2010).

Existen diversos modelos de lámparas y arreglos de luminarias con lámparas eficientes, algunos de ellos en sistemas eléctricos independientes que generan su propia energía. Aunque este arreglo es utilizado principalmente para alumbrado público, también existen modelos de uso residencial. De hecho, la empresa social Iluméxico ha desarrollado sistemas de iluminación de bajo costo, integrados por módulos fotovoltaicos y lámparas eficientes (LED y CFL) adecuados para viviendas y escuelas rurales (**Fig. 2.34**). Esta organización se dedica a ampliar el acceso a la iluminación en comunidades marginadas.



Fig. 2.34 Iluminación en una vivienda rural.
Fotografía cortesía de Iluméxico.

Validación de la Ecotecnología

Las lámparas eficientes cuentan con un marco regulatorio sólido y en constante actualización. Actualmente existen Normas Oficiales Mexicanas (NOM) sobre eficiencia energética aplicables a sistemas de iluminación y de cumplimiento obligatorio para fabricantes y comercializadores¹¹. Éstas consideran tecnologías de aparición relativamente reciente como las lámparas LED. Las normas de eficiencia energética (NOM-ENER) regulan los consumos de energía de aparatos e instalaciones cuyo potencial de ahorro es de costo-beneficio satisfactorio tanto para fabricantes y usuarios (FIdea, 2011). La ANCE es uno de los actores más relevantes de México en cuanto a certificación y normalización de dispositivos de acuerdo con las NOM;

¹¹ NOM-007-ENER-2004 eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales; NOM-028-ENER-2010 eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba; NOM-017-ENER/SCFI-2012 eficiencia energética y requisitos de seguridad de CFL autobalastadas. Límites y métodos de prueba; NOM-030-ENER-2012 eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.

cuenta con unidades de verificación, laboratorios de prueba y servicios de capacitación.

Los programas de iluminación energética que impulsa el Gobierno Federal generalmente están vinculados a NOM. La NOM-028-ENER-2010, por ejemplo, determinó plazos para limitar la comercialización de focos incandescentes para el sector residencial. Esta iniciativa forma parte de los esfuerzos gubernamentales para transformar el mercado de lámparas y reducir el consumo energético del país. En respaldo a los dispositivos que cumplen con la eficiencia energética estipulada en las NOM, el FIDE otorga el “Sello FIDE”. Esta certificación es voluntaria y representa un reconocimiento a los fabricantes que les otorga competitividad en el mercado. Entre los productos que pueden ser certificados por el sello FIDE se cuentan equipos de iluminación y sistemas de control. Más de 15 empresas fabricantes de lámparas cuentan con este distintivo. Ante la variedad de opciones en el mercado, es importante orientar a los usuarios a la adquisición de equipos óptimamente funcionales y de bajo impacto ambiental.

Difusión de la Ecotecnología

La disseminación de lámparas eficientes en México ocurre básicamente a través del mercado. Cada año se comercializan 270 millones de focos, de los cuales entre 40 y 50 millones son CFL (Transparencia Mexicana, 2011). Hasta ahora han habido dos iniciativas importantes para difusión de CFL en México: el Proyecto de Uso Racional de Iluminación en México (ILUMEX) y el Programa Luz Sustentable (PLS). El primero fue implementado por la CFE con aportaciones financieras del GEF y el gobierno de Noruega, abrió el mercado de CFL en México y permitió la incorporación de 2.4 millones de CFL en viviendas de Guadalajara y Monterrey entre 1995 y 1998, reduciendo el consumo energético en más de 300 MWh y mitigando 233,000 toneladas anuales de GEI (De Buen, 2005). El proyecto se implementó para beneficiar a los usuarios que tenían mayor nivel de subsidio y reducir la demanda de energía en horas pico, y consistió en la instalación de módulos de venta con opciones de crédito¹². El segundo fue im-

¹² De Buen (2003) afirma que este proyecto ha sido una referencia para iniciativas posteriores por su complejidad técnica e institucional y su impacto; muchos proyectos menores de adaptación a la tecnología y pruebas de mecanismos de comercialización que involucraron a usuarios y fabricantes sirvieron de base para ILUMEX.

pulsado por el FIDE y apoyado financieramente por el Banco Mundial y se puso en marcha como complemento a la NOM-028-ENER-2010. Consistió en el establecimiento de centros de canje autorizados para el intercambio gratuito de focos incandescentes por lámparas fluorescentes. En total se entregaron más de 45 millones de lámparas eficientes entre 2011 y 2012, mitigando la emisión de 1.4 millones de toneladas anuales de CO₂ (SENER, 2012b). Este programa aprovechó los mecanismos de distribución ya existentes en el mercado de las CFL pero no brindó a los usuarios la posibilidad de elegir las características de las lámparas (Irastorza, 2012).

En total se han difundido casi 60 millones de CFL a partir de incentivos gubernamentales. Esta cifra incluye las lámparas difundidas mediante el PLS, más de un millón entregadas en un programa piloto realizado en conjunto con SENER entre 2009 y 2010 y 12 millones cuya sustitución financió FIDE con recursos propios en el periodo 1996-2012 (Ver **Tabla 2.5**). Hasta ahora ningún programa gubernamental a nivel nacional ha impulsado la difusión masiva de lámparas LED. Su mercado es incipiente y, salvo algunas excepciones, la oferta se limita a empresas que importan la tecnología del extranjero.

Alternativamente a los programas gubernamentales, Iluméxico ha desarrollado varios mecanismos para brindar servicios de iluminación y comunicación en comunidades marginadas. Esta organización promueve el acceso participativo a la tecnología y ha implementado sistemas de iluminación en escuelas, clínicas, centros comunitarios y sitios públicos. Muchos de sus programas están diseñados para atender necesidades y demandas comunitarias específicas y cuentan con un modelo de operación integral (Ver **Tabla 2.6**) y un esquema de micro-pagos adecuado a las condiciones económicas de los usuarios. Iluméxico ha beneficiado a más de 13,000 personas con la implementación de 2,000 sistemas en 11 Estados de la República (Iluméxico, 2013).

La difusión de CFL y de LED es un aspecto fundamental para mejorar la eficiencia energética del país. Aunque se han implementado programas de alto impacto, de difusión masiva de dispositivos y fortalecimiento del mercado, buena parte de la población que habita en comunidades rurales aisladas está fuera del alcance de estos programas. No solo debe tomarse en cuenta la distribución de estas tecnologías para reducir el consumo energético, sino también para mejorar el acceso a la iluminación en zonas rurales donde aún

Período	Programa	Lámparas fluorescentes difundidas
1996-2012	Sustitución de lámparas financiada por el FIDE	12,750,058
2009-2010	Programa piloto SENER-FIDE	1,406,071
2011-2012	Programa Luz Sustentable (PLS)	45,800,000
TOTAL		59,956,129

Tabla 2.5 Cifras de la difusión de CFL mediante programas del FIDE.

Fuente: Elaboración propia con datos de FIDE (2013).

Etapa	Descripción
Reconocimiento y planeación	Se realiza la primera consulta comunitaria y se determinan las fases a ejecutarse y el rol de la comunidad, las autoridades locales e Iluméxico. En esta fase se aclaran dudas y se establecen los compromisos de los involucrados.
Capacitación	Se da la capacitación necesaria para las actividades de infraestructura o de proyectos de acompañamiento. En muchos proyectos inicia la instalación de las tecnologías.
Acompañamiento	Se evalúa el trabajo en las etapas previas y se realizan acciones que lo refuercen: Fortalecimiento comunitario (Diagnóstico comunitario y organización comunitaria) <ul style="list-style-type: none"> - Educación financiera - Educación ambiental - Fomento productivo - Educación saludable
Seguimiento y mantenimiento	A largo plazo se verifica que lo logrado en las primeras etapas siga funcionando y se determinan nuevas necesidades o requerimientos.
Esquema de micropagos	Se implementa desde la etapa de capacitación y tiene una duración de 12 meses. Proporciona la solvencia necesaria para que Iluméxico permanezca en las comunidades.

Tabla 2.6 Modelo de operación de Iluméxico.

Fuente: Elaboración propia con información de Iluméxico (2013).

no se tiene acceso a la red eléctrica. Esta tecnología puede contribuir enormemente a la mejora de la calidad de vida de la población en condiciones de pobreza.

Monitoreo de la Ecotecnología

Debido a que generalmente las lámparas eficientes se diseminan comercialmente y su manejo es sencillo, el seguimiento posterior a la venta es casi nulo. En cuanto a los programas de difusión masiva, el proyecto ILMEX incluyó la evaluación de impactos económicos, ambientales y de mercado a través de encuestas, mediciones del ahorro de energía en las viviendas de las familias beneficiarias y auditorías para establecer el grado de replicabilidad y sustentabilidad del proyecto. No se ha comunicado ninguna estrategia de seguimiento y monitoreo de impactos por parte del PLS.

Los programas de acceso a la iluminación de Ilumex incluyen acompañamiento social para garantizar la adopción y el correcto uso de la tecnología. Esta organización además cuenta con un programa de acreditación de “ingenieros sociales” en el que se capacita a miembros de comunidades con acceso limitado a la electricidad para identificar y resolver problemáticas e implementar acciones que contribuyan a aumentar la iluminación y electrificación rural.

Un aspecto importante es el manejo de las CFL al término de su vida útil debido a que contienen mercurio, que puede ser perjudicial para la salud. No existe ninguna regulación para el manejo de los dispositivos residuales aunque se consideran residuos no peligrosos de manejo especial. Las empresas que los difunden tampoco están obligadas a informar a los usuarios sobre la disposición final de los equipos. Algunas empresas acopian los dispositivos usados para reciclar sus componentes.

En cuanto a las lámparas de LED, no se encontraron iniciativas de monitoreo del funcionamiento de los dispositivos, salvo algunas empresas que realizan monitoreo y servicio posterior a la venta de sus productos. Asimismo, no existe seguimiento sobre la disposición final de estos dispositivos. Estas lámparas no utilizan mercurio y la mayoría de sus componentes son reciclables, por lo que el manejo posterior a su vida útil podría ser menos problemático que el de las CFL.

El seguimiento de estas tecnologías es fundamental desde diferentes perspectivas. En los programas de difusión de lámparas eficientes el monitoreo de la adopción permite garantizar la disminución de impactos ambientales y económicos. Por otro lado, cuando la difusión se lleva a cabo en localidades con acceso limitado a la red eléctrica, la adopción es fundamental para asegurar la mejora en las condiciones de vida de los usuarios, con lo que este proceso cobra un valor mucho más social.

Calentamiento de agua

Calentadores Solares de Agua

Elevar la temperatura del agua es una tarea cotidiana que representa cerca del 6% del consumo energético del país. De éste, la mayor parte corresponde al sector residencial (CONAE *et al.*, 2007). Los combustibles más utilizados por los calentadores son el gas natural, gas propano (GLP), querosén y carbón vegetal; sin embargo, también puede utilizarse electricidad, leña y energía solar. Los calentadores solares de agua (CSA) tienen impactos ambientales prácticamente nulos en su uso final y en algunos casos resultan más económicos que las alternativas convencionales. Son además una de las tecnologías más simples, probadas y con mayor potencial de aplicación en México debido a la alta incidencia de radiación solar en la mayor parte del territorio nacional. Los CSA han sido difundidos en el país desde hace aproximadamente 50 años (*ibid*) y comenzaron a producirse industrialmente a mediados de la década de los setenta (Mallett, 2007). Hoy en día cuentan con gran difusión en el mercado, principalmente en áreas urbanas.

Desarrollo de la Ecotecnología

Los CSA y las empresas que los fabrican y/o comercializan se han vuelto cada vez más comunes en años recientes. En México existen dos grupos generales de CSA: los sistemas diseñados para calentar el agua de albercas (alrededor de 25°), generalmente de plástico, con o sin cubierta de vidrio, y otros hechos de cobre, aluminio, tubos de vidrio y otros materiales, capaces de alcanzar temperaturas más altas (alrededor de 30°), empleados para procesos industriales, comerciales y residenciales (*ibid*). Estos últimos son los que predominan en el mercado. Se distinguen dos modelos: los calentadores de colectores planos y los calentadores de colectores de tubos evacuados (**Fig. 2.35**)¹³.

Los esfuerzos de desarrollo tecnológico en México se han centrado en elaborar modelos para el sec-

¹³ Los CSA de colector plano cuentan con una placa rectangular que absorbe la radiación solar cuando ésta incide perpendicularmente. Solo se aprovecha la energía al mediodía. En cambio, los equipos con colectores de tubos evacuados funcionan a lo largo de todo el día, pues, debido a su estructura circular, reciben siempre la luz perpendicularmente. Además, resulta eficiente y sencillo extraer el aire y prevenir su efecto convectivo, a diferencia de los CSA planos. (Pilatosky y Martínez, 2009).

tor industrial, residencial e incluso agroindustrial, generalmente por pequeñas empresas, fabricantes e instaladoras de calentadores con colectores planos. De los equipos que se producen en el país, la mayoría están dirigidos para consumidores a gran escala, como hoteles y hospitales (Herrera y Andrade, 2010). En 2005, a solicitud de la CONUEE, el IIE realizó un estudio sobre calentadores solares en el sector doméstico en el que se documentó que los fabricantes nacionales carecían de tecnología propia, muchos de los dispositivos eran de mala calidad, el personal técnico para instalaciones era insuficiente y la mayor parte de la producción era a nivel microempresarial. De acuerdo con dicha investigación, estos factores limitan el uso generalizado de CSA en el país.

Entre las diferentes marcas de calentadores solares que operan en México se cuentan fabricantes nacionales, empresas que importan piezas que luego ensamblan, y distribuidores de equipos importados. De acuerdo con la CONAE *et al.* (2009), aunque los colectores producidos por la industria mexicana cuentan con una difusión amplia, la de equipos importados es casi dos veces mayor; la mayoría de los CSA con colectores planos son fabricados por empresas nacionales que ofrecen servicio y refacciones (CONAE *et al.*, 2007), mientras que prácticamente la totalidad de los CSA de colectores evacuados son importados del extranjero.

Desde el ámbito académico se ha desarrollado tecnología termosolar en instituciones como el IIE, el Instituto de Energías Renovables de la UNAM (IER) y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) (ANES, 2000). La ANES ha sido una organización fuertemente vinculada a la academia y los fabricantes de CSA en el país y al igual que el IER ofrece cursos especializados en tecnologías de calentamiento solar. La Cooperación Técnica Alemana (GIZ, por sus siglas en alemán), por otro lado, impartió en 2010 un curso de capacitación sobre el diseño de sistemas de calentamiento solar de agua.

Hasta ahora no se ha prestado atención al desarrollo de modelos diseñados de acuerdo al alcance y necesidades de las familias del sector rural de escasos recursos económicos. De acuerdo con Mallet (2007), la comunidad académica implicada en el aprovechamiento de la energía solar en México está desvinculada de los problemas cotidianos de la población, sobre todo de los sectores populares.

Considerando que el funcionamiento de la tecnología es sencillo, sería importante la generación de alternativas de fácil construcción y mantenimiento para los usuarios. En Huajapan de León, Oaxaca, Herrera y Andrade (2010) desarrollaron un modelo de colectores planos (**Fig. 2.36**) haciendo énfasis en su aplicación rural, construido a base de metodologías conocidas y herramientas y materiales de fácil acceso.



Fig. 2.35 Colector solar de tubos evacuados.
Fotografía cortesía de Omar Xavier Masera Astier.



Fig. 2.36 Calentador solar de colectores planos.
Fotografía cortesía de Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Validación de la Ecotecnología

En México los CSA varían en un amplio rango de precios y calidad. Se trata de un mercado donde existen usuarios con gran conocimiento técnico, dispuestos a pagar por equipos de calidad (generalmente en el sector industrial), y usuarios residenciales con poco conocimiento de la tecnología y mayor disposición a adquirir equipos baratos de baja calidad (Mallett, 2007). La ausencia de normatividad y la difusión de equipos deficientes son factores que debilitan la confianza de los usuarios hacia la tecnología.

El “Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México” (Procalsol) fue emprendido en 2007 con miras hasta 2018 por la CONUEE, en colaboración con ANES y GIZ. Cuenta con cuatro líneas de acción: regulación, financiamiento e incentivos económicos, capacitación, promoción y difusión, y gestión, así como con una Unidad de Coordinación. Como parte de esta iniciativa se elaboró la norma NMX-ES-004-NORMEX-2009 que establece los métodos de prueba para evaluar y comparar el comportamiento térmico de los CSA y se establecieron los requisitos de instalación de los dispositivos en el marco del programa Hipoteca Verde¹⁴ del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit). Además, se han elaborado propuestas para incorporar el uso de sistemas de calentamiento solar en los reglamentos de construcción de los estados de Morelos, Guerrero, Jalisco, Veracruz y los municipios de Puebla y Zihuatanejo (CONUEE *et al.*, 2011).

Previas a la NMX-ES-004-NORMEX-2009 ya se habían gestionado, con la participación activa de ANES, las normas NMX-ES-001-NORMEX-2005 y NMX-ES-003-NORMEX-2007. La primera determina el rendimiento térmico y funcionalidad de los colectores y la segunda los requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos para el calentamiento

¹⁴ Hipoteca Verde es un programa que otorga un monto adicional de crédito para que los trabajadores derechohabientes de Infonavit puedan adquirir viviendas equipadas con ecotecnologías que contribuyan a disminuir gastos relacionados con el consumo de agua y energía y, al mismo tiempo, reducir emisiones de CO₂ (Infonavit, 2011). Las empresas que pueden distribuir sus equipos mediante este programa tienen que ser certificadas por la CONUEE. Actualmente existen más de 60 empresas que cumplen con las especificaciones requeridas, las cuales se establecen de acuerdo al dictamen de idoneidad técnica del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación (ONNCCE).

to de agua. Las tres normas son voluntarias. Existe también un “Dictamen técnico de energía solar térmica en vivienda” expedido por la CONUEE con especificaciones y métodos de prueba para calentadores que incluyan gas LP o gas natural como respaldo a la energía solar. Cabe destacar que esta institución, en colaboración con otras organizaciones como la Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación (NORMEX), ha realizado seminarios de análisis y actualización del marco regulatorio de los CSA para asegurar que los equipos que se ofrecen en el país cuenten con la calidad necesaria y aceptable para ser comercializados. Hoy en día existen cuatro instituciones con laboratorios acreditados para realizar pruebas de certificación de sistemas solares de calentamiento de agua: el IER de la UNAM, la Universidad de Guanajuato, el Grupo Industrial Saltillo y el Laboratorio Mexicano de Pruebas Solares (MEXOLAB).

La instalación de los CSA juega un papel crucial en la adopción de los dispositivos y la percepción de la tecnología. Sin embargo, existe un gran número de empresas y distribuidores que no llevan un control suficiente del personal que instala sus equipos (CONUEE, 2010). Se ha documentado que a partir de experiencias negativas algunos usuarios han abandonado sus dispositivos, considerándolos costosos y poco funcionales (Mallett, 2007). En el marco del Procalsol se desarrolló un mecanismo de certificación para instaladores de calentadores solares de agua, la asociación Porcobre editó un Manual de Calidad en instalaciones de calentamiento solar, buenas prácticas y el FIRCO y GIZ un Manual de Sistemas Térmicos Solares para los agronegocios y una Norma Técnica de Competencia Laboral (NTCL) para Instalación del sistema de calentamiento solar de agua. Además, se impartieron cursos de instalación, desarrollo de proyectos y de diseño de sistemas e instalaciones solares en diversas instituciones.

Aunqu su formulación ha sido reciente y en su mayoría son normas marcadamente opcionales, ya existen esfuerzos para el desarrollo de un marco regulatorio que garantice la calidad de los CSA. Este factor, que había estado ausente por varias décadas, puede facilitar el proceso de adopción de la tecnología. Es importante notar cómo actores académicos, gubernamentales y privados se han coordinado para la formulación de la normatividad. Las instituciones más relevantes en el ámbito de la certificación de CSA son ANCE, NORMEX y el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación (ONNCCE).

Difusión de la Ecotecnología

El medio más común por el que los CSA llegan a los usuarios es el mercado. Recientemente ha surgido un gran número de empresas, algunas de manufactura propia, otras distribuidoras de fabricantes nacionales y otras más filiales directas de empresas extranjeras que compiten por comercializar sus dispositivos. De acuerdo con Mallet (2007), el mercado está dominado por PyMEs con menos de 50 empleados que protegen sus nichos de mercado, cooperan poco con otras organizaciones y comparten muy poca información sobre sus equipos, por lo general técnicamente simples. Se ha documentado una fuerte competencia entre las PyMEs que fabrican sus propios dispositivos y aquellas que distribuyen equipos de empresas de mayor envergadura (*ibid*).

Algunos factores como el alza de los precios de los energéticos y la caída del poder adquisitivo en el país pueden favorecer el interés por la tecnología como estrategia de ahorro energético y económico. Los principales sectores en los que se han implementado sistemas solares de calentamiento de agua son el residencial, el de albercas y la hotelería (CONAE *et al*, 2007); sin embargo, en 2009 por primera vez el sector residencial representó el segmento de mayores ventas anuales (CONUEE *et al*, 2011).

La iniciativa de difusión de CSA más grande a nivel nacional hasta hoy ha sido el Procalsol. En la **Tabla 2.7** se describen algunas acciones realizadas para impulsar la tecnología a nivel nacional. La principal estrategia de difusión ha sido la implementación de dispositivos en viviendas construidas en el marco de la Hipoteca Verde; de hecho, arriba del 80% de las instalaciones planeadas para el período 2007-2012 corresponde a este programa. También se han otorgado subsidios parciales a los dispositivos en colaboración con GIZ, beneficiando a 25,000 viviendas en un programa denominado “25,000 techos solares para México”. Otras experiencias que han contribuido a la difusión de CSA han sido la puesta en marcha de la norma NADF-008-AMBT-2005¹⁵ en el Distrito Federal e iniciativas municipales.

¹⁵ La norma NADF-008-AMBT-2005 del Gobierno del Distrito Federal, puesta en marcha en 2006, estipula como obligatorio que los establecimientos nuevos o totalmente remodelados que cuenten con más de 50 empleados, utilicen sistemas solares para satisfacer al menos el 30% de los requerimientos necesarios para calentamiento de agua de albercas y otros usos.

Línea de acción	Actividades
Regulación	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de normas y establecimiento de requisitos de instalación de CSA en el marco de la Hipoteca Verde, el sector residencial en general y el sector de servicios. • Establecimiento de métodos de prueba y comparación del comportamiento térmico de los CSA. • Propuestas para la incorporación del uso de CSA en los reglamentos de construcción.
Financiamiento e incentivos económicos	<ul style="list-style-type: none"> • Financiamiento de CSA mediante la Hipoteca Verde y otorgamiento de subsidios en el marco del proyecto <i>25,000 Techos Solares para México</i>. • Apoyo económico de Firco-SAGARPA para la instalación de sistemas de calentamiento solar de agua en instalaciones agroindustriales.
Capacitación	<ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de un mecanismo de certificación para instaladores de CSA e impartición de cursos de capacitación sobre el diseño de CSA. • Elaboración del “Manual de Calidad en instalaciones de calentamiento solar, buenas prácticas” y el “Manual de Sistemas Térmicos Solares para los agronegocios”. • Elaboración de la NTCL para “Instalación del sistema de calentamiento solar de agua” y acreditación de ANCE como organismo certificador. • Creación de laboratorios acreditados para realizar pruebas de certificación a CSA.
Promoción y Difusión	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de una estrategia de difusión para el sector residencial y diseño de folletos informativos. • Elaboración de letreros informativos para prevenir al usuario sobre posibles choques térmicos y altas temperaturas. • Organización de seminarios y reuniones. • Desarrollo de una calculadora de rentabilidad y beneficios de la sustitución de calentadores convencionales por CSA.
Gestión	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de un “Sistema de Monitoreo de Impactos del Procalsol”. • Realización de talleres de planificación para la elaboración de los planes operativos anuales.

Tabla 2.7 Principales actividades realizadas en el marco del Procalsol.

Fuente: Elaboración propia con información de CONUEE et al, (2011).

Aunque el número de CSA instalados aumenta cada año, se ha mantenido por debajo de las metas anuales propuestas originalmente por el Procalsol, aún tomando en cuenta aquellos que no forman parte del programa (Ver **Fig. 2.37**). Hasta ahora los esfuerzos gubernamentales para diseminar la tecnología se han enfocado en nuevas viviendas, sin tomar en cuenta la población que no cuenta con dispositivos para el calentamiento del agua o las que utilizan combustibles fósiles.

Instalaciones anuales de CSA en México

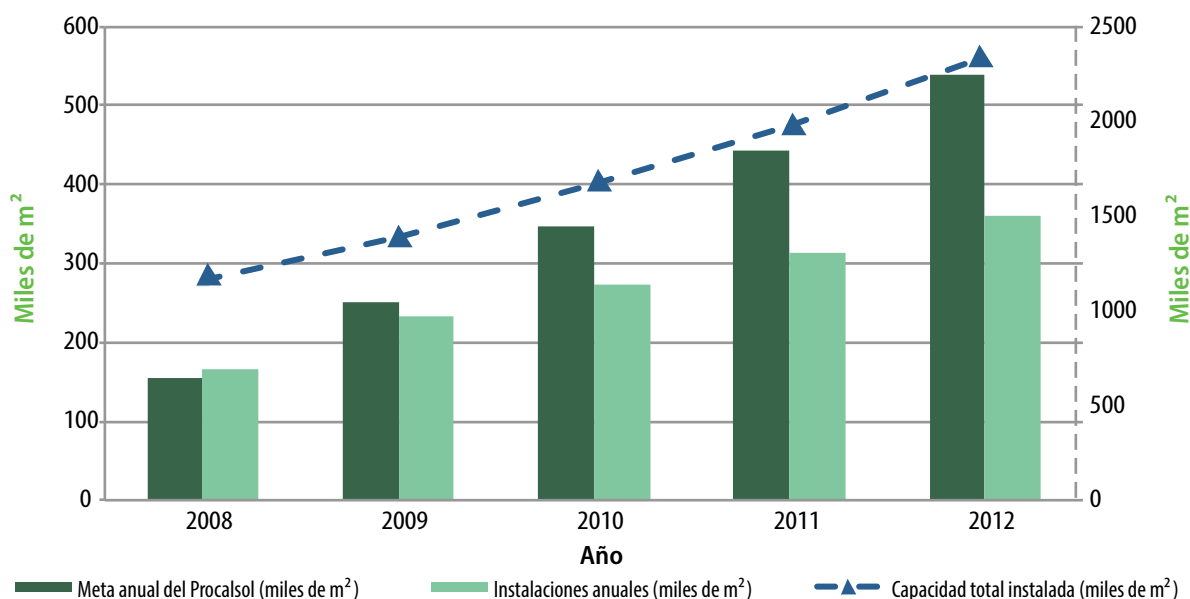


Fig. 2.37 Instalaciones totales anuales de sistemas solares de calentamiento de agua, metas anuales de instalación establecidas por Procalsol y capacidad total instalada de CSA en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAE et al, (2007), SENER (2011) y ANES (2012).

La mayoría de las empresas involucradas en la difusión de CSA no cuenta con suficientes recursos para promocionar los beneficios de la tecnología, y la cultura de vivir al día y el poco interés sobre el cuidado del ambiente en México han tenido un impacto negativo en la percepción de la tecnología por parte de los usuarios potenciales (Mallet, 2007). Ante ello el Procalsol ha distribuido folletos y letreros informativos y desarrolló una “Calculadora de rentabilidad de CSA” con la que los usuarios a través de internet pueden obtener un cálculo aproximado de los beneficios económicos que sustituir su calentador convencional por un CSA traería.

La coordinación entre el gobierno y la iniciativa privada ha sido fundamental para impulsar la tecnología termosolar en México. De acuerdo con la CONUEE, la participación de ANES en la formulación y operación del Procalsol ha asegurado el involucramiento tanto de las principales empresas como de instituciones de investigación y desarrollo tecnológico de este sector, lo cual es clave para el éxito del mismo. Se ha documentado que las empresas cercanas a la ANES cuentan con mayor aceptación social (*ibid*).

Monitoreo de la Ecotecnología

El seguimiento posterior a la instalación de los equipos es un elemento que sigue estando ausente de parte de las organizaciones que difunden esta tecnología. Las empresas generalmente no suelen dar seguimiento para confirmar que el sistema funciona y que el usuario está satisfecho, y algunas se limitan a vender el equipo, dejando la instalación de éste por cuenta del cliente.

El Procalsol cuenta con un sistema de monitoreo de impactos que pretende medir los alcances, identificar medidas de gestión y asegurar la consecución de lo establecido en el programa. Se han estimado impactos sobresalientes en cuanto a mitigación de CO₂ y ahorro económico; a pesar de ello este sistema no evalúa la adopción de los dispositivos.

La cooperación entre los actores inmersos en el diseño, fabricación, importación y distribución de CSA tiene un papel fundamental en la adopción y aceptación social de la tecnología. Para ello es imprescindible fomentar la comunicación entre empresas, dependencias gubernamentales, usuarios, académicos y otros expertos.

AGUA

Abastecimiento y purificación de agua

Sistemas de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia

Un Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia (SCALL) consiste en un arreglo que permite interceptar, recolectar y almacenar el agua de lluvia. Los SCALL son una tecnología adaptable a zonas urbanas y rurales; hay opciones rústicas, sofisticadas, de alto costo, domiciliarias¹⁶, comunitarias, etc. En esta sección se tratarán los SCALL de aplicación doméstica.

La captación o cosecha de agua de lluvia es una de las técnicas más antiguas para obtener agua de uso doméstico y/o riego (**Tabla 2.8**). En México se conocen construcciones para el aprovechamiento de aguas pluviales que datan de 1,500 a. C. (Rojas *et al*, 2009). A pesar de su antigüedad, a nivel doméstico esta práctica fue reemplazada con la introducción del agua entubada. Sin embargo, la reciente escasez de este recurso ha determinado el surgimiento de promotores de SCALL en zonas urbanas y rurales. La instalación de SCALL en viviendas que ya cuentan con infraestructura de almacenamiento de agua, como una cisterna, generalmente resulta de bajo costo y no requiere un cambio de hábitos por parte de los usuarios.

En México las condiciones geográficas y climáticas son favorables para la captación de agua de lluvia; el promedio nacional anual de precipitaciones es de 1,489 miles de millones de m³ (CONAGUA, 2010). A pesar de esto, en la mayoría del país estos sistemas se limitan a ser un medio de abastecimiento para casos de severa escasez (García, 2012). En general existe poca información e interés sobre esta tecnología y su potencial para garantizar el acceso al agua, ahorrar energía, prevenir inundaciones en zonas urbanas y permitir un manejo responsable y descentralizado de este recurso.

Desarrollo de la Ecotecnología

Debido a que los SCALL son una categoría que comprende más de un dispositivo, se han promovido diferentes arreglos de diferentes materiales, con dife-

Finalidad	Captación	Conducción	Almacenamiento	Uso
Obras Hidráulicas	Chultún Terraza Depósito pluvial Presa Jagüey Sarteneja Olla	Ducto Canal Acueducto Dique	Sarteneja Jagüey Baño Depósito pluvial Pozo Chultún Aljibe Aguada Cenote Rejollada	Agua potable Uso doméstico Baño Riego Recreación

Tabla 2.8 Obras hidráulicas antiguas para el aprovechamiento del agua de lluvia.

Fuente: Modificado de Rojas et al, (2009) y Gutiérrez (2011).

rentes métodos de captación e incluso con diferentes métodos de construcción y mantenimiento, adaptados de acuerdo con la calidad y a la cantidad de agua que se pretende captar, así como a las condiciones climáticas. Un ejemplo de este tipo de adaptaciones son los desviadores de primeras lluvias (*first-flush*) y los filtros de grava, usados en algunos captadores para evitar la incorporación de agua de baja calidad al sitio de almacenamiento. Uno de ellos, el desviador de primeras lluvias “Tlaloque” (**Fig. 2.38**), diseñado para separar automáticamente la parte más sucia de cada lluvia, fue desarrollado por el proyecto Isla Urbana¹⁷ y es el primer producto mexicano en su tipo.

El Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo A.C. (FpCVB)¹⁸ implementa desde 2004 un sistema integral que incluye un sistema de captación de agua de lluvia, filtros de arena y piedra, una cisterna (o pileta), una bomba de mecate y un sistema de tratamiento

¹⁷ Isla Urbana es un proyecto del Instituto Internacional de Recursos Renovables dedicado al desarrollo, diseño e implementación de sistemas de captación de agua pluvial adaptados especialmente a la Ciudad de México. El trabajo de Isla Urbana se enfoca en llenar la zona del Ajusco medio en Tlalpan de sistemas de captación de agua de lluvia, la cual sufre grave escasez de agua, trabajando en conjunto con la comunidad para lograr un abastecimiento sustentable y accesible a personas de todo nivel económico (extraído de: www.islaurbana.org).

¹⁸ Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo A.C. es una organización sin fines de lucro que promueve acciones a favor del rescate y conservación de la región por medio de proyectos que favorezcan la permanencia de los bosques, arroyos y que permitan el bienestar de sus habitantes (extraído de: www.contracorriente.mx).

¹⁶ Un SCALL típico implementado a nivel domiciliar consta de las siguientes secciones: área de captación, área de conducción, desvío al drenaje, desviador de primeras lluvias (*first flush*) o pre-filtración y almacenamiento. Dependiendo del uso que se le quiera dar al agua puede ser necesaria la incorporación de filtros o purificadores.



Fig. 2.38 Taloque en uso.

Fotografía cortesía de Jaled Abdelrahim.

de aguas grises (**Fig. 2.39**)¹⁹. Para 2013 había implementado más de 1,700 sistemas de captación de agua de lluvia y casi 1,300 piletas (Yniesta *com pers*, 2013). Además, esta institución cuenta con más de ocho años de experiencia instalando cisternas de ferrocemento y ha adaptado las técnicas de construcción a las necesidades de las comunidades: “todo lo hacemos con nuestras propias manos (repellar, tortear, aplanar y pulir), las herramientas que utilizamos, como el gancho para tejer y los pistones, son artesanales, fabricados por las propias comunidades” (*ibid*). Por otra parte, GRUPEDSAC tiene proyectos de sistemas de captación de agua de lluvia y construcción de cisternas de ferrocemento (**Fig. 2.40**) e Isla urbana también ha desarrollado cisternas de geomembrana y malla (*quick tank*).

¹⁹ El paquete incluyó sistemas de captación de agua de lluvia, cisternas, sanitarios ecológicos, lavaderos ecológicos, cajas solares, bicibombas, tanques de descarga de fondo (TDF) y huertos familiares, que fueron transferidos por medio de talleres demostrativos y manuales de instalación (Rivero y Barrios, 2012; Rivero, 2012). Para esto, se hizo un diagnóstico comunitario participativo, después se construyeron las tecnologías, se las evaluó, se les dio seguimiento, se hicieron reparaciones y finalmente se hizo un análisis del impacto técnico, económico y social (Ortega y Amezcua, 2008).

En varias instituciones académicas se lleva a cabo investigación sobre el tema. Una de ellas es el Colegio de Postgraduados (COLPOS), con sede en la Universidad Autónoma de Chapingo (UACh), que cuenta con el Centro Internacional de Demostración y Captación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI-CP), donde se ofrece capacitación y se realiza investigación a diferentes escalas, además de contar con cinco prototipos tecnológicos patentados de SCALL: para uso doméstico y consumo humano; para producción de peces de ornato y comestibles; para consumo humano a nivel comunitario (3,000 personas); para abastecer especies animales; y para diversos cultivos bajo condiciones controladas en invernaderos (Anaya, 2008). Por otra parte, en el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD) de la Universidad de Guadalajara (UDG) se lleva a cabo un proyecto denominado “SCALL UDG”, encaminado a crear conciencia sobre el cuidado del agua en la Zona Metropolitana de Guadalajara. En él participan profesores y estudiantes de diferentes disciplinas y han desarrollado un esquema integral de aprovechamiento del agua para el CUAAD que, además de sistemas de saneamiento, incluye la cosecha de 220 mil litros anuales (Cárdenas, 2012). También han realizado análisis de viabilidad y gestiones para la implementación de SCALL en el Palacio Municipal de Guadalajara (Gleason, 2012; Espinosa y Contreras, 2013).

Validación de la Ecotecnología

Hasta ahora no existe una normatividad que regule o determine las características de los SCALL, aunque instituciones como el CIDECALLI-CP están realizando esfuerzos para establecerla. Esta institución está trabajando en la elaboración de la norma sobre sistemas de captación de agua de lluvia con el objeto de certificar a técnicos especializados en la materia (Anaya, 2008). Desafortunadamente, varias OSC han promovido y construido SCALL que no funcionan de manera óptima, reduciendo la aceptación social de la tecnología en las comunidades en que son implementados (Lomnitz, 2012). Por esta razón, es fundamental establecer una normatividad que certifique a los SCALL que son diseñados e implementados correctamente.

En el Distrito Federal la Ley de Aguas aprobada en 2003 exige la cosecha de agua de lluvia en todas las nuevas edificaciones, promueve la implementación de estos sistemas en todas las construcciones y cuen-



Fig. 2.39 Ejemplo del sistema integral de captación de agua de lluvia del FpCVB.

Fotografías cortesía de Alfredo Fuentes.



Fig. 2.40 Ejemplo de construcción de cisterna de ferrocemento.

Fotografías cortesía de GRUPEDSAC.

ta con un programa de certificación de edificaciones sustentables establecido en noviembre de 2008 por la Secretaría de Medio Ambiente en cuyo apartado de agua privilegia la captación y/o infiltración de las aguas pluviales.

La NOM-127-SSA1-1994 determina los límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano y la NOM-041-SSA1-1993 para agua embotellada. El agua cosechada por un SCALL que se destine al consumo humano debería cumplir con los parámetros establecidos en estas normas. Además, la NOM-230-SSA1-2002 establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimientos públicos y privados durante el manejo de agua para preservar la calidad del agua para uso y consumo humano.

Difusión de la Ecotecnología

Varios organismos promueven y difunden información sobre los SCALL: el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) cuenta con proyectos de tecnología apropiada en los que se investigan y

difunden SCALL a escalas que van de la doméstica a la municipal; la Asociación Internacional de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (IRCSA, por sus siglas en inglés), vinculada a su organización madre en EUA y presente en varios estados de la República, provee asesoría y difunde SCALL; instancias gubernamentales como la SEMARNAT, la CONAFOR, y la SAGARPA han publicado manuales sobre la captación de agua; Isla Urbana publicó un manual de uso y mantenimiento de SCALL residenciales; el IPN publicó el manual técnico “Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento” (Caballero, 2006); el Gobierno del Estado de Guerrero y la Agencia de Desarrollo Rural (ITAGRO) publicaron un Manual de construcción de Sistemas de Almacenamiento de Agua de Ferrocemento (Cruz, 2008).

Isla Urbana ya ha implementado más de 1,300 sistemas domésticos y escolares a través de estrategias de coparticipación comunitaria (Pineda, 2013), casi todos en la Ciudad de México (aunque también ofrece capacitación y difusión de la tecnología en otros

estados). Uno de sus proyectos más representativos es la iniciativa interdisciplinaria *Ha ta tukari*, “Agua nuestra vida”, que tiene por objetivo impulsar el desarrollo sostenible en comunidades huicholas con alto grado de marginación y pobreza de la Sierra de Jalisco. Mediante talleres educativos y producciones artísticas desde 2010 han implementado más de 25 SCALL comunitarios y familiares y han desarrollado proyectos productivos y educativos con niños, mujeres y hombres de las comunidades (Lobo, 2013). Por otra parte, el proyecto del FpCVB se ha difundido de voz en voz por los propios beneficiarios y ellos mismos buscan a la organización para que su comunidad sea atendida. También cuenta con un boletín informativo y presencia en redes sociales. No existen manuales de construcción porque las mujeres capacitadoras enseñan a construir el dispositivo con la metodología presencial “aprender-haciendo”. Una comunidad se atiende en un lapso de ocho o nueve meses con visitas semanales y prácticas de construcción en las que todos participan.

La iniciativa privada también ha contribuido a difundir la tecnología: empresas como Ingeniería, Construcción y Arrendamiento S.A. de C.V. (Incasa) han implementado SCALL en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Éstos contaron con la colaboración del grupo de consultores Descarga Cero, quienes brindan asesoría mediante sistemas de información geográfica que indican dónde aprovechar mejor el agua de lluvia.

Monitoreo de la Ecotecnología

Aunque hay instituciones que monitorean los SCALL que instalan, lo más común es que esta tarea corra a cargo del usuario. La adopción de la tecnología se facilita en la medida en que el sistema ha sido bien diseñado y su funcionamiento y los procedimientos de mantenimiento son entendidos por los usuarios. De acuerdo con Vignau (2009), el buen funcionamiento de los sistemas a mediano y largo plazo está directamente relacionado con la participación de la comunidad durante la planeación y operación de los proyectos.

De los estudios que Isla Urbana ha realizado para determinar el grado de adopción de sus sistemas el más completo es el de Smith y Mink (2012), en el que se estudiaron zonas rurales, urbanas y periurbanas de la Ciudad de México y se compararon sistemas con financiamiento del gobierno local, con financiamiento privado, con coparticipación monetaria y con

mano de obra proveniente de los usuarios. Se determinó que arriba del 70% de los dispositivos había sido adoptado y entre el 85% y el 93% de los sistemas en las localidades en que su implementación incluyó la participación de los usuarios. A partir de esta investigación se determinaron factores como el acceso a agua entubada, la participación de los usuarios, la escasez del recurso y las características intrínsecas de la localidad que inciden en la adopción de los sistemas. Por otra parte, en la comunidad de La Cebolleta, Jalisco (principal beneficiaria del *Ha ta tukari*), que ha tenido un acompañamiento constante, se han llevado a cabo actividades educativas y culturales en paralelo y la tecnología ha sido tan bien recibida que incluso algunos habitantes de la comunidad se capacitaron para instalar SCALL de manera independiente (Lobo, 2013). Por otro lado, el FpCVB a modo de seguimiento recolecta por lo menos una vez al año formatos con el historial familiar de los usuarios y da sugerencias verbales o escritas (Yniesta *com pers*, 2013).

Purificación de agua

Una de las fallas más frecuentes en los sistemas de captación pluvial es la mala calidad del agua recolectada (Adler *et al*, 2008). El tratamiento, filtración y/o desinfección es un paso clave en cualquier sistema de captación y existen un sinnúmero de tecnologías para tratar el líquido y mantenerlo en buen estado, incluso por periodos de tiempo prolongados.

- a) Prefiltros: dispositivos que se colocan antes de la cisterna o el tanque de almacenamiento para evitar la entrada de basura, materia orgánica u otros contaminantes. Pueden ser coladeras, rejillas, registros sedimentarios (desarenadores), filtros rudimentarios de rocas o malla o trampas de grasa.
- b) Filtros: sistemas que eliminan partículas pequeñas, sólidos, sustancias químicas disueltas, metales pesados y, en agua potable, sales y minerales al salir de la cisterna y antes de su uso final. Algunos medios filtrantes son: carbón activado, KDF (*Kinetic Degradation Fluxion*), arena sílica y ósmosis inversa.
- c) Desinfectantes: sustancias o procedimientos que eliminan los microorganismos vivos patógenos como algas, hongos, bacterias o virus. Los métodos más utilizados son la aplicación de cloro, ozono, plata coloidal, sistema aquarius, campos energéticos, luz ultravioleta, sodis (desinfección solar) e iones de plata.



Fig. 2.41 Mesita Azul instalada en casa rural y apoyo técnico.

Fotografías cortesía de Cántaro Azul.



Fig. 2.42 Ejemplos de dispositivos desarrollados por Grupo EOZ: FiltrEOZ y LlavEOZ, respectivamente.

Fotografías cortesía de Grupo EOZ.

Algunas instituciones que han trabajado este tema son CIDECALLI-CP, Fundación Cántaro Azul y Grupo EOZ. El CIDECALLI-CP diseñó y construyó en la zona mazahua un sistema de captación, almacenamiento, purificación y envasado de agua de lluvia, creando la marca “MAZ-AGUA” y beneficiando a una población de 3,500 habitantes, e instaló un sistema similar en la zona purépecha de Michoacán que benefició a 3,200 personas (Anaya, 2008). La Fundación Cántaro Azul junto con la Universidad de California en Berkeley diseñó y desarrolló un sistema de desinfección de agua con luz ultravioleta, inicialmente llamado UV Tuve, después AquatUVO y finalmente Mesita Azul (**Fig. 2.41**). Esta tecnología desinfecta hasta cinco litros de agua por minuto, consume úni-

camente 15 W de electricidad (equivalente a una lámpara fluorescente pequeña) y cumple los criterios de desinfección establecidos por la Organización Mundial de la Salud y la NOM-180-SSA1-1998 de la Secretaría de Salud para sistemas de desinfección. Se ha demostrado que hubo una reducción significativa de *Escherichia coli* en el agua de los hogares en los que se instaló (Martínez, 2014). Desde 2012 la tecnología ha sido implementada en localidades de Chiapas, Tabasco, Veracruz, Oaxaca y Querétaro (Cántaro Azul, 2013). Además, Cántaro Azul está desarrollando un modelo de monitoreo con visitas mensuales de seguimiento (Martínez, 2014).

Grupo EOZ es una empresa social conformada por EOZ S.A. de C.V. y el Instituto de Tecnologías Ru-



Fig. 2.43 Uso de LlavEOZ en una comunidad rural.

Fotografía cortesía de Grupo EOZ.

rales A.C. La primera se encarga del desarrollo, fabricación y venta de purificadores de agua (**Fig. 2.42**) y la segunda de la capacitación y la distribución de purificadores en comunidades rurales y peri-urbanas marginadas a través de la Red Nacional de Promotores Locales (Grupo EOZ, 2013). Inspirándose en el UV Tube, desarrollaron una versión más compacta y más sencilla de transportar llamada “UVeta” (inicialmente cubeta UV), en colaboración con el Instituto Tecnológico de la Paz. La UVeta recibió en el 2006 el premio del Banco Mundial “*Development Marketplace Best Innovation on Water for the poor*”, lo cual permitió la instalación y monitoreo de 1,538 UVetas en Baja California Sur. En 2009 desarrollaron el purificador ZEOZ: una llave ultravioleta combinada con un filtro de fibras huecas, más compacto y fácil de transportar e instalar y que reduce la turbidez del agua antes de desinfectarla, viable en zonas rurales y urbanas. Se han instalado 8,400 LlavEOZ en comunidades rurales aisladas y sin agua potable de 17 estados (**Fig. 2.43**). La tecnología está validada por la NOM-244-SSA1-2008 y su difusión se lleva a cabo a través del contacto directo con otras OSC, fundaciones involucradas con el desarrollo rural y medios de comunicación electrónicos (Grupo EOZ, 2013; Cassasuce *com pers*, 2014). A las familias beneficiadas se les da un seguimiento de hasta seis meses cuando el financiamiento lo permite, pero el objetivo de Grupo EOZ es establecer un red de técnicos rurales en los municipios portuarios del país, financiada con Bonos de Carbono, que permita cubrir el 100% del monitoreo a largo plazo (*ibid*).

MANEJO DE RESIDUOS

Saneamiento con Arrastre Hidráulico

Biofiltros

Bajo el término “biofiltro” se consideran varias tecnologías con las que se remueven contaminantes del agua mediante bacterias (de ahí el prefijo “bio”). Los biofiltros de aguas grises (aguas provenientes de la cocina, lavadero, lavabo y regadera) también son llamados “bio jardineras” o “lavaderos ecológicos” y por lo general consisten en una trampa de grasas y un filtro anaeróbico donde los microorganismos junto con plantas acuáticas degradan los contaminantes orgánicos (**Fig. 2.44**). El tiempo de retención y el número de pasos que el sistema necesita para que las bacterias descompongan la materia orgánica varía de acuerdo al uso que se le quiera dar al agua.

Desarrollo de la Ecotecnología

A pesar de que la información sobre biofiltros de aguas grises disponible en México es escasa (ni siquiera existe una definición precisa de “biofiltro”), hay organizaciones que han desarrollado sistemas domésticos.

El IMTA es una de las instituciones que más ha trabajado el tema. Entre los dispositivos que han desarrollado se encuentran el “lavadero ecológico”, un biofiltro de cinco cámaras (una trampa de grasas, dos lechos fijos para la remoción de materia orgánica, y dos humedales con plantas acuáticas de flujo ascendente-descendente para la remoción de los nutrientes) (Córdova y Vázquez, 2011), un biofiltro de alta eficiencia de lecho orgánico de residuos de tabachin y jacaranda desarrollado en colaboración con el Centre de Recherche Industrielle du Québec (CRIQ) e instalado en una escuela secundaria de Cuernavaca Morelos en 2007 (Buelna *et al*, 2011) y un prototipo de biofiltro/humedal para el tratamiento de aguas residuales domésticas que consiste en un tanque de almacenamiento, un biofiltro con lecho orgánico y un humedal de flujo superficial (IMTA, 2008).

Otros modelos desarrollados en el país son los filtros o biojardineras de Sarar Transformación, SC (Sarar-T), conformados por una trampa de grasas, una sección de tezontle que distribuye uniformemente el agua, una sección de plantas acuáticas y una segunda sección de tezontle (Buenfil y Garduño, SF). También se encuentra un biofiltro desarrollado por la Universidad Autónoma de Querétaro

que incluye una trampa de grasas, un depósito de estabilización, un lecho de hidrófitas y un compartimiento para almacenar el agua, implementado en la comunidad de La Concepción, Guanajuato (Gay *et al.*, 2010).

Una de las referencias más completas sobre esta tecnología es el “Manual para la construcción de Biojardineras” publicado en Costa Rica, en el que se explica la construcción y el mantenimiento de los dispositivos (Rosales, 2006).

Validación de la Ecotecnología

No existe un reglamento en México que evalúe los biofiltros. Tampoco se documentaron esfuerzos de ninguna institución para validar la tecnología. En todo caso, la normatividad oficial mexicana aplicable corresponde a la calidad de la descarga de aguas residuales. La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales y la NOM-002-SEMARNAT-1996 en sistemas de alcantarillado.

Esta falta de validación ha contribuido a la aparición de fallas técnicas en procesos de difusión de estas tecnologías. En 2003, el IMTA llevó a cabo un proyecto en la cuenca del Lago de Pátzcuaro donde se implementaron ocho tecnologías apropiadas, entre ellas el “lavadero ecológico”. Sin embargo, se presentaron problemas referentes al diseño del sistema que no permitían el desagüe. Aunque posteriormente se corrigieron, una normatividad adecuada hubiera evitado el problema (Córdova, 2012).

Difusión de la Ecotecnología

Aunque hasta ahora la difusión de biofiltros en México ha sido limitada, han existido proyectos particulares, sobre todo de empresas de arquitectura, organizaciones y profesionales independientes que los han promovido: Sarar-T ofrece talleres y capacitación en *saneamiento ecológico*²⁰ en los que incluye biofiltros jardineros (Buenfil y Garduño, SF); GRUPEDSAC imparte talleres demostrativos sobre esta tecnología; el IMTA promueve los “lavaderos ecológicos” como parte de un paquete de tecnologías apropiadas para

²⁰ En el saneamiento ecológico, también llamado “eco-san”, las excretas humanas son parte de un ciclo: son un recurso que puede ser procesado para reciclar los nutrientes contenidos en ellas y ser usados en la agricultura (Esrey *et al.*, 1998).



Fig. 2.44 Biofiltro implementado por GRUPEDSAC.
Fotografía cortesía de GRUPEDSAC.

el desarrollo rural²¹; y Proyecto Vida Rural Sustentable difunde el uso de biofiltros (Fig. 2.45) junto con otras ecotecnias.

Existen algunas iniciativas en las que los biofiltros se han difundido en asociación con Sanitarios Ecológicos Secos (SES) en proyectos integrales de saneamiento y vivienda. En la cuenca del lago de Cuitzeo, Ducks Unlimited de México (DUMAC) difundió la tecnología con el objetivo de involucrar a las comu-

²¹ El paquete incluyó sistemas de captación de agua de lluvia, cisternas, sanitarios ecológicos, lavaderos ecológicos, cajas solares, bicibombas, TDF y huertos familiares, que fueron transferidos por medio de talleres demostrativos y manuales de instalación (Rivero y Barrios, 2012; Rivero, 2012). Para esto, en primer lugar se hizo un diagnóstico comunitario participativo, después se construyeron las tecnologías, se les evaluó, se les dio seguimiento, se hicieron reparaciones y finalmente se hizo un análisis del impacto técnico, económico y social (Ortega y Amezcua, 2008).



Fig. 2.45 Biofiltro difundido por Proyecto Vida Rural Sustentable.
Fotografía cortesía de Víctor Ruiz.

nidades ribereñas en la mejora de la calidad del agua del lago (Ortiz y Valle, 2013).

Monitoreo de la Ecotecnología

Solo se documentaron esfuerzos de seguimiento y evaluación para esta tecnología en el proyecto de implementación de tecnologías apropiadas del IMTA, en el que se evaluaron indicadores técnicos, sociales, ambientales y económicos a través de encuestas a beneficiarios de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro. En la evaluación encontraron que de los 268 lavaderos ecológicos instalados, 22 presentaron problemas pero solo ocho no estaban siendo utilizados. La mayoría de los usuarios daban mantenimiento al biofiltro y 18 mencionaron haberle realizado alguna modificación al mismo (Rivero y Barrios, 2012). Este es un punto crítico, pues el buen funcionamiento de los sistemas requiere un mantenimiento muchas veces más complejo que el de otras ecotecnias (Ver sección de Experiencias Integrales).

Humedales Artificiales

Los humedales artificiales son sistemas acuáticos diseñados para remover la mayor parte de los patógenos y nutrientes contenidos en el agua, replicando los procesos de descomposición que ocurren naturalmente en humedales lacustres y marinos (Romero-Aguilar *et al*, 2009). Aunque se pueden implementar a escala doméstica, generalmente son una alternativa para el tratamiento de aguas residuales a nivel comunitario (Fig. 2.46).

La estructura más común de un humedal artificial es un lecho relleno de grava y arena colocado sobre una superficie impermeable (arcilla o geomembrana) y plantas acuáticas macrofitas cuyas raíces liberan oxígeno evitando que el sedimento se vuelva anóxico. Existen tres tipos de humedales artificiales: de flujo superficial libre, de flujo horizontal sub-superficial y de flujo vertical. Las dimensiones y el tipo de humedal dependen del volumen del agua que debe de ser tratado y de la cantidad de contaminantes que contenga; las aguas negras requieren un pre-tratamiento de sedimentación (como el de una fosa séptica) para estabilizar la carga y evitar obstrucciones (Ramos *et al*, 2003; Tilley *et al*, 2008).

La implementación de esta tecnología a pequeña y mediana escala ha demostrado ser una alternativa de bajo costo, fácil operación y mantenimiento (Romero-Aguilar *et al*, 2009), adecuada para su aplicación en comunidades rurales de los países en desarrollo (Kivaisi, 2001). Los humedales artificiales pueden ser relevantes en México debido al gran número de comunidades rurales pequeñas, aisladas y de baja densidad que aún carecen de alternativas económica y ecológicamente viables (Zurita *et al*, 2012).



Fig. 2.46 Humedal para el tratamiento de las aguas residuales de la comunidad de Cucuchuco, Tzintzuntzan, Michoacán.
Fotografía cortesía de IMTA.

Desarrollo de la Ecotecnología

En México se han instalado varios humedales artificiales en colaboración con universidades estatales, la mayoría como proyectos piloto para investigación aplicada. El Centro de Biotecnología de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, en colaboración con la Facultad de Química de la UAEM, instaló un humedal artificial de flujo horizontal en Cuernavaca, Morelos para medir la eficiencia de remoción de la carga orgánica, nitrógeno y fósforo (Romero *et al*, 2009). Por otro lado, la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y el CINVESTAV instalaron una planta experimental a micro-escala de un humedal de flujo sub-superficial horizontal donde se analizó la eficacia de remoción de sólidos y materia orgánica, y se demostró que es una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales urbanas en el municipio de Campeche (Gíacomán *et al*, 2010). Otras universidades que realizan investigación sobre el tema son la UNAM, la UAM (Boletín UAM, 2007), la Universidad Tecnológica del Norte de Guanajuato (Hernández, 2009), la Universidad Veracruzana (San Martín, 2011), el COLPOS (Avelar, 2011) y la Universidad de la Sierra de Juárez (Oznaya, 2012).

El IMTA también ha sido un actor relevante en el desarrollo de humedales artificiales. Esta institución instaló cinco humedales artificiales de flujo horizontal para realizar investigación y capacitación sobre la tecnología en las comunidades de Cucuchuco, Erongarícuaro (**Fig. 2.47**), San Jerónimo Purenchécuaro y Santa Fe de la Laguna, en la cuenca del Lago de Pátzcuaro (IMTA, 2010; IMTA, 2011). Finalmente, otras experiencias de implementación de sistemas piloto de aplicación doméstica de flujo sub-superficial han demostrado que en ellos se pueden sembrar flores ornamentales de alto valor económico (Belmont *et al*, 2004; Zurita *et al*, 2009).

Validación de la Ecotecnología

No existe un reglamento en México que evalúe o determine las características necesarias para construir o mantener un humedal artificial. En algunos sistemas se han detectado problemas con las dimensiones del dispositivo, con una cubierta vegetal inadecuada o un diseño hidráulico deficiente (Krekeler *et al*, 2007).

La normatividad aplicable a esta tecnología es la misma que para los biofiltros y sistemas sépticos. La calidad de la descarga de aguas residuales en el servicio público está regulada por la NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos de



Fig. 2.47 Humedal para el tratamiento de las aguas residuales de Erongarícuaro, Michoacán.

Fotografía cortesía de IMTA.

contaminantes y la NOM-004-SEMARNAT-2002 que define las propiedades necesarias para el aprovechamiento y disposición final de lodos y biosólidos.

Difusión de la Ecotecnología

La difusión de humedales artificiales ha sido limitada en general, sin embargo, han habido experiencias exitosas, principalmente a mediana escala en algunos estados del país (Zurita *et al*, 2012). En 2011 la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) documentó 69 humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales municipales en funcionamiento, la mayoría en el Estado de Oaxaca (Ver **Tabla 2.9**). Entre los actores privados que se dedican a la implementación de humedales artificiales destaca la empresa mexicana Wetlands de México, que se dedica a la investigación, diseño y construcción de plantas modulares de tratamiento de aguas residuales para localidades con menos de 35,000 habitantes.

En la península de Yucatán, donde la mayoría de las localidades pequeñas carecen de alternativas de saneamiento también se ha documentado la implementación de humedales artificiales domésticos. Se han construido al menos 50 desde la década de los noventa en la localidad de Akumal, Quintana Roo y sus alrededores (Krekeler *et al*, 2010). En Taxco, Guerrero, existe una asociación para el saneamiento del Río San Juan que ha trabajado con localidades de la microcuenca y en 2011 implementó un programa que contempla la construcción de humedales artificiales, biodigestores, biofiltros y SES (Agencia de noticias Guerrero, 2011). Por último, cabe mencionar que el IMTA ofrece un curso sobre tratamiento

Estado	Plantas en operación
Aguascalientes	3
Chiapas	1
Chihuahua	1
Guerrero	1
Jalisco	3
México	1
Michoacán	4
Morelos	1
Nayarit	3
Oaxaca	39
Querétaro	1
San Luis Potosí	2
Sinaloa	1
Sonora	1
Tabasco	4
Tamaulipas	1
Tlaxcala	2
TOTAL NACIONAL	69

Tabla 2.9 Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales municipales en operación en 2011.

Fuente: CONAGUA (2011).

de aguas residuales mediante humedales artificiales (IMTA, 2011).

Monitoreo de la Ecotecnología

El monitoreo de este tipo de tecnología es básico debido a que el proceso de descomposición natural puede cambiar drásticamente bajo distintas condiciones climáticas y dependiendo del tipo de vegetación y microbios presentes en el humedal y los contaminantes del agua (Romero-Aguilar *et al*, 2009). Sistemas de mayores dimensiones requieren acciones de operación y mantenimiento más rigurosas.

La información sobre experiencias o resultados de acciones de monitoreo es limitada y poco accesible. A pesar de esto, un grupo de investigadores estadounidenses realizó un estudio en el que se evaluaron veinte sistemas domésticos de flujo sub-superficial en Akumal, Yucatán, para generar información de base para el monitoreo a largo plazo, el cual identificó problemas como una cubierta vegetal limitada, malos olores y falta de contenedores secundarios (Krekeler *et al*, 2007). La única experiencia registrada sobre monitoreo de contaminantes es la que se ha llevado a cabo en los humedales de la ribera del lago de Pátzcuaro con el objetivo de evaluar su efectividad (García *et al*, 2013). Zurita *et al*, (2012) han puntualizado que algunas barreras para la adopción y el uso de estos sistemas en México son la falta de conocimiento de la tecnología, la carencia de información técnica en español y el desinterés gubernamental, cuyas iniciativas han estado dirigidas a implementar plantas de tratamiento convencionales en zonas urbanas.

Sistemas Sépticos

Los sistemas sépticos, tanques o fosas sépticas se utilizan para tratar aguas residuales domésticas y así evitar la contaminación de los cuerpos de agua. Se implementan principalmente en áreas periurbanas o rurales que carecen de redes de drenaje para el saneamiento doméstico y en zonas urbanas donde la implementación de sistemas convencionales de alcantarillado es inviable. No son aptos para zonas de inundación y/o alto nivel freático (Tilley *et al*, 2008).

A diferencia de las alternativas aeróbicas (como los humedales artificiales), estos sistemas no requieren una superficie amplia para su construcción. Los dispositivos consisten en una serie de cámaras a través de las cuales los compuestos orgánicos presentes en el agua son degradados por bacterias anaeróbicas (**Fig. 2.48**). El funcionamiento de una fosa séptica es similar al de un biodigestor pero su propósito es distinto.

Aunque la carga orgánica y la cantidad de patógenos pueden reducirse significativamente (McCarty, 2001), el tratamiento del agua no es definitivo. El agua y los lodos residuales requieren un post-tratamiento para su deposición final (Tilley *et al*, 2008). En México es común el uso de zanjas de infiltración para la oxidación del efluente, filtros de arena subterráneos, o pozos de absorción para el post-tratamiento (McCarty, 2001).

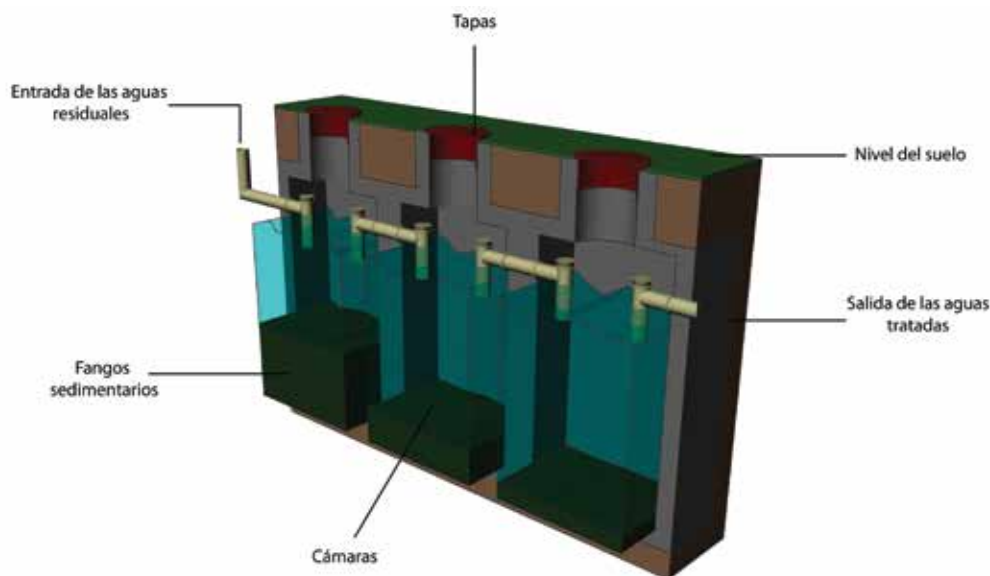


Fig. 2.48 Diagrama de una fosa séptica.

Fuente: *Elaboración propia.*

Desarrollo de la Ecotecnología

La tecnología de tanques sépticos en México está dominada por PyMES. Existe una diversidad de modelos en el mercado con variaciones en el número de cámaras, el tipo de filtros y el post-tratamiento del agua y lodos residuales. Alternativas y Procesos de Participación Social cuenta con un modelo demostrativo (**Fig. 2.49**) en su Museo del Agua ubicado en Tehuacán, Puebla.

Los sistemas pueden ser de construcción *in situ* y prefabricados. Recientemente se han desarrollado sistemas prefabricados para su difusión masiva, como el generado por la empresa Sépti-K o el “Biodigestor



Fig. 2.49 Fosa séptica demostrativa (Museo del Agua).

Fotografía cortesía de Vanessa Salazar.

Autolimpiable” de Rotoplas, una de las empresas de sistemas de almacenamiento de agua con mayor impacto en México. Este dispositivo está diseñado para expulsar los lodos automáticamente por una válvula a presión. Ambos están protegidos con patentes, lo cual evidencia la competencia entre las empresas que desarrollan esta tecnología.

También existen aditamentos para mejorar el funcionamiento de los tanques sépticos. ASIPSA, una empresa especializada en productos y servicios sanitarios, ofrece un compuesto de bacterias que se aplican para degradar contaminantes del agua. Han creado una mezcla específica para su aplicación en fosas sépticas y lagunas de oxidación.

Validación de la Ecotecnología

Existe una NOM sobre fosas sépticas prefabricadas. La NOM-006-CNA-1997 regula las especificaciones, métodos de prueba, procesos sépticos y procesos de oxidación del efluente que se infiltra. Establece la distancia entre la fosa y los cuerpos de agua (15-60 m) y edificios (5 m), y su capacidad nominal. También determina que los sistemas deben contar con un registro de inspección, ya sea en la forma de una construcción aparte o de una apertura en la fosa misma. Para la oxidación del efluente hay tres tipos de instalaciones determinadas: zanjas de infiltración, filtros

de arena subterráneos y pozos de absorción. Dependiendo del suelo y el espacio, se elige uno de esos tres tipos (SEMARNAT, 1999).

Todas las empresas que construyen fosas sépticas deben registrarse bajo la NOM-006-CNA-1997 y cumplir con las normas de la calidad de los efluentes (NOM-001-SEMARNAT-1996 para la descarga en aguas nacionales, NOM-002-SEMARNAT-1996 para la descarga a alcantarillado, NOM-003-SEMARNAT para reuso en servicio al público y NOM-004-SEMARNAT-1996 para el aprovechamiento y disposición de lodos y biosólidos). Existe un manual técnico para la aplicación de la NOM-006-CNA-1997 elaborado por el IMTA y la CONAGUA.

Aunque en la normatividad se establece que las nuevas viviendas que no están integradas a la red de alcantarillado convencional deben contar con una fosa séptica, ésta no determina las dimensiones o el tipo de sistema (Febles-Patrón *et al*, 2008). Además, cada estado cuenta con regulaciones propias para el manejo de fosas sépticas; en Yucatán, por ejemplo, el Plan Estratégico de Mérida intenta regularizar las fosas sépticas para proteger las aguas subterráneas, pues la ciudad carece de un sistema de alcantarillado sanitario y muchas fosas sépticas han sido construidas fuera de la norma.

Difusión de la Ecotecnología

Las fosas sépticas han sido ampliamente difundidas en México. Varias empresas se dedican a su comercialización e implementación (véase **Tabla 2.10**), un buen número de ellas se encuentran en Mérida, Yucatán, donde, por las características topográficas y geológicas de la región, la implementación de sistemas convencionales de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales resulta económicamente inviable. Es por ello que el uso de fosas sépticas se ha convertido en una alternativa común para el saneamiento domiciliar (Espadas *et al*, 2007).

La tecnología también se ha difundido a través de manuales de construcción y operación. La Universidad de Quintana Roo, en colaboración con la universidad de Rhode Island (EUA) y la USAID, publicó un manual que describe los materiales y cálculos necesarios para la aplicación de fosas sépticas caseras en la zona costera de la península de Yucatán (Carballo *et al*, 1999). Asimismo, Cuidatumundo, un portal web con productos y servicios para el cuidado del ambiente, ofrece una guía sencilla con instrucciones para dimensionar e instalar fosas sépticas.

Empresa	Productos y/o servicios
EmMéxico	Implementación de sistemas sépticos de cuatro cámaras con filtros de grava y zeolita para la reutilización del agua tratada.
StarAnaya	Implementación de sistemas básicos de múltiples cámaras y aditamentos como trampas de grasas y biopelículas.
ASIPSA	Desarrollo tecnológico e implementación de sistemas avanzados con fases aeróbicas y anaeróbicas para el tratamiento integrado de aguas negras y grises.
Septic	Asesoría, comercialización e implementación de fosas sépticas de construcción <i>in situ</i> de acuerdo con las circunstancias de los usuarios.
Nuevos Desarrollos Industrial y Comercial	Comercialización e implementación de tanques sépticos prefabricados.
Sondex	Comercialización e implementación de tanques sépticos de tres cámaras de plástico reforzado.
COPENSAE	Comercialización de tanques sépticos prefabricados con trampa de grasas en la Península de Yucatán.
Tubos DYSA	Comercialización e implementación de tanques sépticos de plástico y de concreto en varios estados de la República; instalación de sistemas con trampas de grasas y sistemas de post-tratamiento e infiltración de los efluentes.
Guxval	Implementación de fosas sépticas y plantas de tratamiento domésticas; asesoría para la construcción de sistemas de tratamiento doméstico, municipal e industrial.

Tabla 2.10 Empresas que difunden sistemas sépticos en México y descripción de sus tecnologías y servicios.

Elaboración propia con información de EmMéxico (2009), COPENSAE (2010), Tubos DYSA (2011), StarAnaya (2012), ASIPSA (2012), Septic (2012) y Guxval (2012).

Los modelos de los sistemas varían de acuerdo con la empresa que los promueve. Notablemente, el principal canal de difusión de la tecnología es el mercado, con lo que, en muchos casos, la población en condiciones de pobreza sin alternativas convencionales de saneamiento en la vivienda resulta excluida.

Monitoreo de la Ecotecnología

El monitoreo de esta tecnología está relacionado directamente con la normatividad descrita en el apartado de Validación. Empresas como Septic, Guxval, StarAnaya y Sondex ofrecen servicios de mantenimiento y monitoreo de las fosas sépticas, sin embargo, es común que los propios usuarios monitoreen sus sistemas. El vaciado de los lodos se menciona en la NOM-006-CNA-1997 y debe llevarse a cabo cada 12 meses con inspecciones visuales cada seis meses. La instalación del tratamiento de efluente necesita ser inspeccionada periódicamente para evitar fallas por taponamiento de sedimentos (SEMARNAT, 1999). Existen multas y sanciones legales para quien descargue efluentes con niveles de contaminación fuera de la norma. Finalmente, también existen empresas que se especializan en el desazolve de las fosas sépticas domésticas y se hacen responsables de que los sistemas sépticos cumplan la norma NOM-004-Semarnat-2002 para el aprovechamiento y la deposición de los lodos.

Saneamiento seco

Sanitarios Ecológicos Secos

Los sanitarios secos comprenden diferentes construcciones y dispositivos que permiten desechar y tratar las heces humanas sin usar agua, evitando la contaminación de las grandes cantidades que un sanitario convencional requiere. La mayoría de los sanitarios secos del mundo se han distribuido en zonas rurales (Córdova, 2000). En México esta tecnología puede ser una alternativa importante de saneamiento para el 20% de la población que habita en éstas, especialmente en las más pobres, muchas de las cuales carecen de agua potable y alcantarillado (Seguin, 2010). También puede ser relevante para los asentamientos que se encuentran sobre rocas porosas, donde de otro modo existe el riesgo de que filtraciones de contaminantes lleguen a los mantos acuíferos subterráneos y donde la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales resulta económicamente inviable (Sawyer, SF; Espadas *et al*, 2007).

El modelo “vietnamita” es uno de los más populares y en México se ha introducido una variante conocida como “Sanitario Ecológico Seco” (SES), con dos cámaras para la deshidratación de las heces y que, a diferencia de otros más sencillos, puede utilizarse en zonas inundables y dentro de la vivienda (Esrey *et al*, 1998; WSP, 2006; Tilley *et al*, 2008). Además, los

desechos tratados en este dispositivo son fertilizantes que pueden contribuir a cerrar el ciclo de los nutrientes (Esrey *et al*, 1998; Guerrero *et al*, 2006; Tilley *et al*, 2008).

Desarrollo de la Ecotecnología

En México se conocen muchos modelos diferentes de SES, algunos de los cuales han sido adecuados a condiciones climáticas, geográficas y/o culturales específicas: sistemas de bajo costo construibles por los mismos usuarios con materiales autóctonos como el adobe, sanitarios secos con tazas de porcelana, modelos prefabricados, equipos diseñados para áreas urbanas, etc. (López *et al*, SF). Los SES más desarrollados,



Fig. 2.50 Sanitario ecológico seco implementado por el Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo.

Fotografía cortesía de Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo.

adaptados y difundidos en el país han sido los de construcción *in situ*, generalmente a partir de un diseño original que luego es replicado por promotores, técnicos y usuarios (**Fig. 2.50**). Internacionalmente existe un acervo grande de manuales de construcción de sanitarios secos al que autores e instituciones mexicanas como Castillo (2002), Añorve (2008) y CONAFOR (2008) han contribuido.

Una de las principales referencias a nivel nacional es el Centro de Innovación en Tecnologías Alternativas (CITA), situado en el Estado de Morelos. Esta institución cuenta con un taller donde se fabrican tazas separadoras de orina de bajo costo, de cerámica y cemento, así como moldes de las mismas, y ha contribuido desde principios de los ochenta al desarrollo de SES, difundiéndolos en comunidades indígenas

y zonas de difícil acceso a agua y drenaje (Sawyer, SF; Hieronimi, 2000; Añorve *et al*, 2000; Rizzardini, 2009).

Otros desarrolladores importantes de SES para zonas rurales han sido empresas privadas, como Ingeniería, Ecología y Proyectos (IEPSA) y Sanitarios portátiles de México (SANIMEX), con modelos prefabricados, generalmente ligeros y portátiles. Muchas de éstas han fungido como proveedoras para promotores y dependencias gubernamentales que implementan programas sociales y ambientales de saneamiento seco.

En cuanto al sector urbano, recientemente han surgido innovaciones y prototipos de sanitarios secos con diseños similares a los de un sanitario convencional: en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) y el Centro de Investigación de Diseño Industrial (CIDI) de la UNAM se han diseñado y patentado algunos modelos como el “sanitario seco urbano auto-contenido”, cuyo desarrollo tomó en cuenta la perspectiva de los usuarios potenciales y que, de acuerdo con sus creadores, ofrece las mismas comodidades que un W.C., asegurando su aceptación social (Del Olmo *et al*, 2012).

El desarrollo de SES en México cuenta con varias décadas de experiencia y en varios casos ha estado ligado a las necesidades y percepciones de los usuarios. Uno de los retos principales para esta tecnología consiste en poner al alcance de los usuarios potenciales los sistemas más adecuados a sus necesidades y condiciones geográficas, climáticas, culturales y socioeconómicas.

Validación de la Ecotecnología

Hasta ahora no existe en México ninguna normatividad que regule los dispositivos secos (Ramos *et al*, 2003). De hecho, ni siquiera existe una definición precisa de saneamiento ecológico o de sanitario ecológico seco. Los reglamentos nacionales de saneamiento, como la NOM-009-CNA-2001, están dirigidos a sanitarios de arrastre hidráulico. La validación y mantenimiento de los sistemas corre, pues, por cuenta de los usuarios.

Factores que investigaciones con más de una década de antigüedad han demostrado que determinan la efectividad de la difusión de SES son: la existencia de sistemas que los usuarios consideren atractivos y accesibles, una regulación adecuada y la creación de alianzas estratégicas para su promoción (Esrey *et al*, 1998). Sin embargo, también se ha demostrado que

la existencia de barreras culturales puede prevenir la adopción de los dispositivos (Peña, 2011; López, 2010).

Difusión de la Ecotecnología

Los difundidores de la tecnología en el país han sido dependencias gubernamentales, agencias internacionales de desarrollo, instituciones académicas, consultores independientes y OSC; muchas veces como parte de un trabajo dirigido al saneamiento, el manejo integrado del agua y/o la permacultura²². El papel de las comunidades y los usuarios en este proceso ha sido en algunos casos el de gestores activos y en otros el de receptores pasivos de la tecnología (Córdova, 2000). El financiamiento de los proyectos de difusión de SES, muchos de los cuales han sido llevados a cabo por OSC, varía desde algunos en que el usuario cubre el costo total del sanitario hasta otros en que solamente provee la mano de obra, pasando por un amplio rango de situaciones intermedias (Córdova, 2000). Los financiadores han sido organizaciones internacionales, empresas privadas y dependencias gubernamentales; a nivel federal las instituciones más involucradas son SEDESOL, SEMARNAT y CONAGUA, mientras que algunos ayuntamientos y gobiernos estatales han emprendido proyectos de saneamiento seco en zonas rurales y barrios peri-urbanos.

A la fecha se han llevado a cabo numerosos proyectos de implementación de sistemas de saneamiento seco en el país. Córdova (2000) compiló una aproximación a las diferentes experiencias documentadas hasta dicha fecha (Ver **Tabla 2.11**). Oaxaca, uno de los cinco estados con mayor pobreza del país (CONEVAL, 2012), es una de las entidades con mayor registro de dispositivos instalados; algunas experiencias incluso documentan la implementación de SES en asociación con huertos biointensivos familiares (Ysunza *et al*, 2010). En el Estado de Yucatán también se han llevado a cabo esfuerzos de difusión masiva de esta tecnología; entre 2003 y 2007 se instalaron cerca de 40,000 sanitarios financiados por SEDESOL, algunos de ellos exitosamente vinculados a proyectos ecoturísticos (Vignau, 2009).

²² La permacultura es una práctica que consiste en desarrollar sistemas productivos complejos y estables combinando diseño de paisaje con plantas perennes y animales. Es un recurso seguro y sustentable para pueblos y ciudades puesto que ofrece altos rendimientos con bajas entradas de energía (Mollison, 1979).

Tipo de experiencias	Sitio	Sanitarios Instalados	Fecha de comienzo	Nivel de Ingresos	Promotor(es)
1. Urbano, Programas Institucionales	Acapulco, Gro.	257a	1997	B	GM, AI
	Cd. Juárez, Chih.	300	1999	B	U, FP, OI
	León, Gto.	600	1996	B	GM
	N. Romero, Edo. México	115b	1994	B	AL, OL
	Puerto Morelos, Q.R.	40	1999	ND	OI, OL, AI
	Oaxaca, Oax.	180c	1990	B	GM, OL, GCo
	Col San Luis Beltrán, Oaxaca, Oax.	45	1992	B	GE, OL
	Col. Vista Hermosa, Oaxaca, Oax.	64	1992	B	GE, OL
	Ejido Gpe. Victoria, Xochimilco, D.F.	90	1999	B	GM, OL
2. Urbano, Iniciativas Independientes	Cuervaca, Mor.	50+	1982	M, A	OL y otros ND
	Sn. Miguel de Allende, Gto.	ND	ND	ND	ND
	Tepoztlán, Mor.	100+	1982	B, M, A	ND
3. Zonas ecoturísticas	Baja California	ND	ND	ND	OL, OI
	Otros sitios turísticos	ND	ND	ND	ND
4. Programas rurales en escuelas	Mazatlán (Mpio.)	30	2000	RM	GM, OL
	San Luis Potosí (Edo.)	80	1999	ND	AI y otros ND
5. Programas Rurales a Comunidades	Acapulco (Mpio.)	292d	1998	RM	GM, AL, GCi
	Edo. De Guanajuato	1,000+	1993	RM	GE, GM
	Edo. De Oaxaca	50,000+e	1993	RM	GE, OL, AI
	Varios Estados	ND	ND	RM	GF
	Quintana Roo	300	1993	RM	OI, AI, OI

Tabla 2.11 Tipos de experiencias de saneamiento seco en México y sus características durante la década de los 90s.

Notas: Ingresos: B: bajo, M: medio, A: alto, RM: rural marginado. Promotores: GM: gobierno municipal, GE: gobierno estatal, GF: gobierno federal, U: universidad, FP: fundación privada. OL: Organización no gubernamental local, OI: Organización no gubernamental internacional, AI: agencia internacional, GCo: grupo comunitario, GCi: grupo ciudadano, independiente de la comunidad involucrada. ND: información no disponible o no recolectada.

Sanitarios instalados: (a) 1ª etapa: 100, 2ª etapa: 100, 3ª etapa: 57 (b) 1ª etapa: 24, 2ª etapa: 90 (c) la etapa: 25, 2a etapa: 15, 3ª etapa:

140 (d) 1ª etapa: 100, 2ª etapa: 50, 3ª etapa: 142 (e) la etapa: 2,500, y 12,000 por año en por lo menos cuatro etapas posteriores.

Fuente: Córdova (2000).

En el ámbito de las OSC el CITA, además de sus aportes en el desarrollo tecnológico de los SES, cuenta con una larga trayectoria de difusión y promoción de la tecnología. Ha desarrollado un modelo de producción de SES a pequeña escala cuyos primeros talleres independientes fueron instalados en Oaxaca y Yucatán en 1990 (Esrey *et al.*, 1998) y que actualmente ha sido reproducido en varias localidades del país y en el extranjero (Añorve *et al.*, 2000; González, 2011). En este modelo, los talleres funcionan autónomamente, respetando la idiosincrasia de quienes los manejan, promoviendo la divulgación del saneamiento ecológico e incluso generando ingresos económicos a la comunidad (Añorve *et al.*, 2000; González, 2011). El CITA está vinculado con Espacio de Salud A.C., una organización que trabaja con un enfoque de saneamiento ambiental integral que considera desde las políticas hasta las ecotecnias más adecuadas para las localidades donde trabaja y realiza divulgación de tecnologías para el cuidado del agua, como SCALL, mingitorios secos, entre otras.

Sarar-T, con sede en Tepoztlán, Morelos, es otra organización que también cuenta con una amplia experiencia en la difusión de SES, así como en la divulgación del saneamiento ecológico. Esta OSC se caracteriza por su metodología participativa para la difusión de sistemas de saneamiento; cuenta con un centro demostrativo de divulgación de tecnologías de saneamiento ecológico y manejo descentralizado del agua, y está vinculada con muchas instituciones nacionales e internacionales; entre ellas, ecoSencia, una empresa comercializadora de accesorios y servicios de saneamiento ecológico. Durante 2003 y 2006 Sarar-T coordinó junto con otras organizaciones locales, estatales y federales un proyecto piloto de saneamiento ecológico municipal en Tepoztlán, denominado *TepozEco* (Sawyer y Garduño, 2010). El proyecto abordó el tema del saneamiento a escala municipal, integrando investigación y promoción de sanitarios ecológicos, demanda de agua potable, tratamiento de aguas grises, cosecha de agua de lluvia, producción de composta, uso de orina como fertilizante y educación ambiental (Sawyer *et al.*, 2003).

Como en muchos otros proyectos de saneamiento ecológico, en la iniciativa Grupo Balsas para el Estudio y Manejo de Ecosistemas A.C. se ha observado el rol estratégico que los constructores y promotores locales tienen. En esta iniciativa, que ha buscado pro-

mover el uso eficiente del agua en comunidades de alta marginación de la micro-cuenca del Bajo Balsas a través de la implementación de SES, se capacitaron constructores locales, con lo que la diseminación de la tecnología se produjo de forma independiente y horizontal, motivando a los propios usuarios a generar adaptaciones técnicas para adecuar los dispositivos a sus necesidades específicas. De acuerdo con Burgos (2012), la planeación y ejecución participativa de este proyecto determinó este proceso de aprendizaje social y el manejo adaptativo del agua²³ a nivel comunitario. Se ha documentado que en comunidades donde el saneamiento alternativo no se considera una necesidad y no se tiene conocimiento sobre el tema, los proyectos para implementar la tecnología a menudo fracasan (Sawyer, SF). De ahí la relevancia de iniciativas de divulgación de conocimientos como el Centro de Mujeres Tonantzin, en Ciudad Juárez, que publicó un manual denominado “El a,b,c del Sanitario Ecológico Seco” y una guía en caricaturas en colaboración con la Universidad de El Paso, Texas.

Aunqu la mayor parte de la difusión de SES en México ha ocurrido en comunidades rurales, han existido experiencias urbanas de mediana y gran escala; la mayoría, sobre todo las de mayor escala, en asentamientos irregulares o conurbados cuyo uso de suelo no es oficialmente urbano y por lo tanto no es atendido por los organismos operadores del agua (Córdova, 2000). Un caso emblemático es el de San Luis Beltrán, un barrio peri-urbano de la capital del Estado de Oaxaca en el que sus habitantes, ante la imposibilidad económica de implementar un sistema convencional de alcantarillado, optaron por resolver su necesidad de saneamiento a través de la implementación de SES con apoyo del gobierno local (Añorve, 1998; en Esrey *et al.*, 1998).

Como ya se vio, en México han habido muchas experiencias relevantes de difusión de sanitarios ecológicos en diferentes contextos y a diferentes escalas que pueden ser estudiadas para mejorar las futuras intervenciones, sin embargo sigue siendo importante fortalecer una visión holística del saneamiento ecológico.

²³ El manejo adaptativo se refiere al diseño, ejecución y monitoreo de acciones. En este proceso se realizan observaciones de las acciones implementadas en el manejo de recurso y se ponen a prueba supuestos basados en el conocimiento científico. Como resultado, se genera aprendizaje que se reincorpora al plan de manejo (Pererira, SF).

Monitoreo de la Ecotecnología

Se ha documentado que el éxito de los proyectos de saneamiento seco en el mediano y largo plazo depende en gran medida del seguimiento que reciban (Córdova, 2000; Vignau, 2009) y que las condiciones en que la implementación del dispositivo se llevó a cabo son determinantes para el uso y mantenimiento adecuados de la tecnología (López, 2010); de acuerdo con Añorve *et al.*, (2000), cuando el usuario instala un sanitario seco por iniciativa propia, éste funciona adecuadamente. Sin embargo, Córdova (2000) ha documentado que en México los niveles de participación de los usuarios en la planeación, selección y ejecución de los programas han sido bajos, lo cual ha incidido negativamente en los niveles de adopción de la tecnología. La adopción de ésta, además, requiere un cambio significativo en los hábitos de los usuarios, tanto en los que antes practicaban el fecalismo a cielo abierto como en los que usaban sanitarios convencionales (Córdova, 2000); en las sociedades urbanas, para que un sistema seco sea aceptado, tiene que cumplir con los estándares de comodidad y estética que el W.C. ha impuesto a lo largo de un periodo de más de cien años (Del Olmo *et al.*, 2012).

La experiencia de varios proyectos ha demostrado que buenas prácticas en el manejo de los sistemas de saneamiento ecológico pueden contribuir al óptimo funcionamiento de la tecnología (evitando, por ejemplo, la presencia de olores y moscas) y a su adopción (Esrey *et al.*, 1998; Sawyer *et al.*, 2006). Finalmente, para garantizar la adopción del dispositivo es indispensable que los usuarios comprendan la utilidad y las ventajas del nuevo sistema, del manejo de las excretas y de los hábitos higiénico-sanitarios que pueden protegerlos de enfermedades y que estén capacitados para darle el mantenimiento que requiere (Guerrero *et al.*, 2006; Montes, 2009).

Entre las metodologías que se han propuesto para mejorar el grado de adopción de los SES y que buscan vincular a los usuarios con la tecnología (cambiando el paradigma de la búsqueda de soluciones de un problema de salubridad ambiental y en muchos casos social) se encuentran las fichas de uso y monitoreo y los esfuerzos de sensibilización y capacitación de Sarar-T, los cuales muchas veces establecen vínculos interinstitucionales con la población y las autoridades locales que garanticen la apropiación de la ecotecnología (Montes, 2009).

Es sabido que ha habido muchos proyectos de instalación de sanitarios ecológicos que han frac-



Fig. 2.51 Sanitarios abandonados en una escuela rural de Michoacán.

Fotografía cortesía de Marco Antonio Rosas.

sado, causando el abandono de los sistemas (**Fig. 2.51**); superar la mala reputación que estas experiencias han infundido a la tecnología es una de las dificultades más significativas que la difusión de ésta enfrenta (Sawyer, SF). En León, Guanajuato, por ejemplo, se implementaron SES en 600 viviendas de una zona urbana de alta densidad como parte de un ambicioso programa con una concepción única de proyecto habitacional y urbanístico. Sin embargo, problemas de diseño que complicaron la operación de los dispositivos, deficiencias en la capacitación y seguimiento del programa, intereses políticos y conflictos sociales determinaron, algunos años más tarde, la introducción de drenaje convencional (Córdova, 2000). Este tipo de fracasos obedece a una combinación de factores, no a uno solo (*ibid*); Córdova (2000), basándose en las experiencias nacionales, lo atribuye a las percepciones de los usuarios y sus cambios de hábito, a deficiencias en los programas de difusión, al diseño y operación de la tecnología y a la desinformación y las dimensiones políticas de los actores involucrados y, a la vez, propone un conjunto de factores que puedan determinar su éxito (Ver **Fig. 2.52**).

De acuerdo con Sawyer *et al.*, (2006), la experiencia en el uso de SES en México es positiva; sin embargo, el grado de adopción de los sistemas en el país aún varía entre el 66% y el 80% (Córdova, 2000). Para modificar esto y maximizar los beneficios ambientales, sociales y de salud asociados a esta tecnología se requiere cambiar el objetivo de los proyectos de implementación de sanitarios ecológicos, de uno en que se busca el mayor número de sanitarios implementados a otro en que se busque el mayor número de sistemas en adecuado funcionamiento.

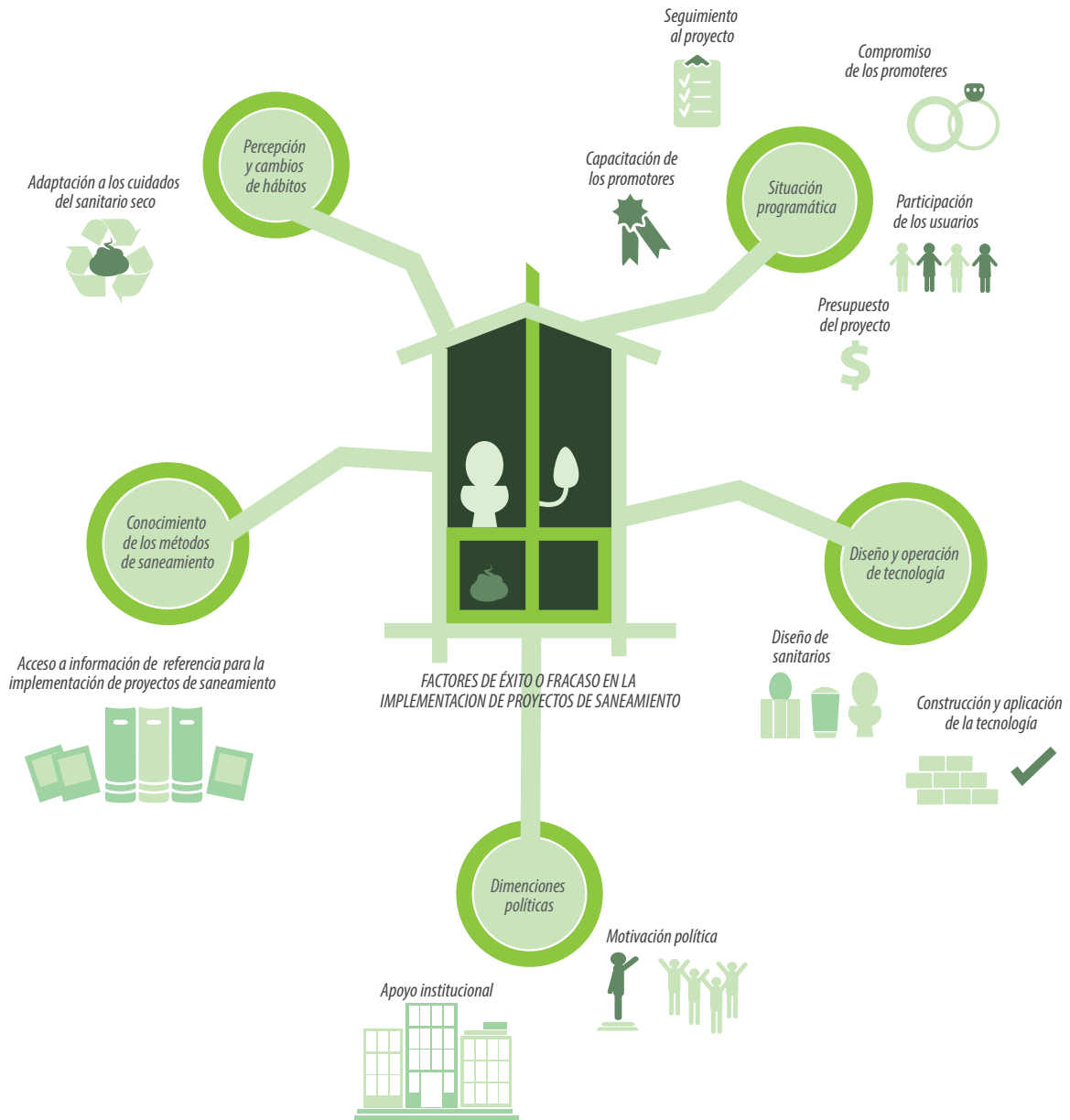


Fig. 2.52 Factores de éxito y fracaso en proyectos relacionados con la implementación de sanitarios secos en México.

Fuente: Elaboración propia con información de Córdova (2000).

Mingitorios Secos

Los mingitorios secos son dispositivos para verter desechos líquidos (orina, en específico) que no utilizan agua para su funcionamiento. Se diferencian de los mingitorios convencionales por su mecanismo que permite evacuar los líquidos sin que regresen los malos olores. Debido al ahorro de agua que representa su uso, también se les conoce bajo el nombre de “mingitorios ecológicos”. La mayoría de estos dispositivos son desarrollados y comercializados por empresas especializadas en la fabricación y distribución de equipos y artículos para sanitarios. Son comunes en edificios y establecimientos públicos y en algunos casos se usan como complemento a SES.

Desarrollo de la Ecotecnología

Existen varias empresas en México que comercializan mingitorios secos con diferentes tecnologías nacionales e importadas para atrapar el olor. Se cuenta con trampas de acero inoxidable y membranas de látex, cartuchos de gel, plásticos absorbentes, entre otros (véase **Tabla 2.12**). Algunos modelos de SES diseñados para el sector rural incluyen mingitorios secos sencillos, generalmente sin mecanismos para atrapar los olores. En lugar de enviar la orina al drenaje convencional, la dirigen a un contenedor que también recibe la que proviene del excusado (**Fig. 2.53**).

Si donde se implementa el mingitorio existe drenaje, la orina se descarga directamente a través de la tubería. En casos donde no hay, puede almacenarse para después emplearse como fertilizante bajo ciertas precauciones. Cabe destacar que la mayoría de los modelos que se desarrollan y comercializan en México están destinados a establecimientos comerciales, ya que para éstos predomina el mercado.

Validación de la Ecotecnología

Hasta ahora no existe ninguna norma oficial en México que regule esta tecnología, por lo que los fabricantes determinan por completo las características de diseño y funcionamiento de los dispositivos. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que la mayoría de las empresas que diseñan estos dispositivos cuentan con experiencia de bastante tiempo atrás desarrollando muebles para baños y sanitarios convencionales. Tampoco existe una regulación para la disposición final de las trampas de olores. Al igual que con los SES, en las normas de salud y medio ambiente solo toman en cuenta sistemas que mezclan

Tecnología	Descripción
<i>Odourstop</i>	Trampas de acero inoxidable con un elemento de látex (tipo membrana) que se abre y cierra con el peso de la orina.
<i>Micro trampa</i>	Plástico que disminuye su diámetro y evita la acumulación de orina.
<i>Cartucho de gel</i>	Trampa de gel reemplazable de duración de 4-5 meses de uso.
<i>Enseco</i>	Trampa de plástico ABS biodegradable en un lapso de 5-8 años. Cuenta con protección antibacterial.
<i>Cartucho Falcon Water Free</i>	Cartuchos desechables con líquidos selladores en forma de gel, dentro de los cuales se acumulan los sedimentos.
<i>Ki-Válvula</i>	Sistema que contiene una membrana resistente a detergentes y cloro, duración de aprox. 1,000 usos.

Tabla 2.12 Tecnologías para atrapar olores en mingitorios que se difunden en México.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 2.53 Mingitorio seco junto a sanitario ecológico seco.

Fotografía cortesía de GRUPEDSAC.

los residuos con agua, por lo que no hay regulaciones sobre el manejo de la orina separada desde el origen (Ramos *et al*, 2003; CONAGUA, 2001).

Difusión de la Ecotecnología

Los mingitorios secos son una de las tecnologías de saneamiento ecológico más difundidas en el mercado y con más proveedores comerciales. Por lo general, los fabricantes proveen los mingitorios a empresas distribuidoras. Entre las empresas mexicanas que los comercializan se encuentran comercializadora Colina Cruz, Migisec, Distribuidora de Nuevas Tecnologías, Urimex (**Fig. 2.54**), Sani-Ofertas y Makech. Adicionalmente, existen programas que los promueven. El IMTA y la SEMARNAT, por ejemplo, cuentan con un Programa de Uso Eficiente y Racional del Agua que considera a los mingitorios secos dispositivos ahorradores de agua, y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) elaboró un Catálogo de Dispositivos Ahorradores de Agua que incluye la descripción de algunos modelos de mingitorios secos.

Esta tecnología ha sido incluida en algunas iniciativas de saneamiento ecológico. Existen experiencias en las que los mingitorios secos han sido una tecnología clave en el acopio de orina para su uso posterior en prácticas agroecológicas. De acuerdo con Bulnes (2012), la orina es un excelente fertilizante, por sus altos contenidos de nutrientes en formas asimilables para las plantas. Sarar-T ha encabezado proyectos en los que se ha utilizado orina como fertilizante como TepozEco (2003-2006) en Tepoztlán, Morelos o el SWASH (2009-2011) en escuelas rurales de la Sierra Sur de Oaxaca. En el proyecto TepozEco se implementaron mingitorios secos en oficinas, establecimientos comerciales, escuelas y eventos públicos, y la orina colectada se utilizó para realizar pruebas como fertilizante en cultivos de maíz, nopal y aguacate, y se añadió a procesos de composteo de materia orgánica (Kvarnström *et al*, 2013). En el programa SWASH los mingitorios se instalaron en escuelas de educación básica como parte de un proyecto educativo que involucró a estudiantes, padres de familia y productores forestales que utilizaron la orina como fertilizante en un vivero (*ibid*).

Al igual que otras tecnologías, los mingitorios secos han sido difundidos principalmente en áreas urbanas a través del mercado. Hoy en día es cada vez más común el uso de mingitorios secos en establecimientos comerciales y edificios. A pesar de ello iniciativas como las de Sarar-T (Bulnes, 2012; Kvarnström *et al*, 2013) demuestran que pueden tener un papel importante como parte de proyectos comunitarios integrales, tanto en áreas rurales como urbanas.



Fig. 2.54 Mingitorio seco con tecnología Ki-válvula.
Fotografía cortesía de Urimex.

Monitoreo de la Ecotecnología

El mantenimiento de los mingitorios secos se realiza por quien adquiere los dispositivos y no se documentaron estrategias de monitoreo por parte de los proveedores comerciales. Para esta tecnología el monitoreo puede ser poco relevante en aplicaciones urbanas/comerciales pero determinante en proyectos que involucran el uso posterior de la orina.

Manejo de Residuos pecuarios

Biodigestores

Un biodigestor es un contenedor sellado herméticamente en el que se procesa estiércol, desperdicios de comida, rastrojos de siembra y materia orgánica en general. Dentro ocurre un proceso anaeróbico que transforma la materia prima en un fertilizante orgánico, llamado biol, y en biogás. Ésta tecnología permite satisfacer diferentes necesidades: es una alternativa para el tratamiento de los residuos pecuarios que evita la contaminación de suelo y agua por la deposición inadecuada de las excretas; el biogás puede ser utilizado para cocción de alimentos, iluminación, calefacción, calentamiento de agua y producción de electricidad; y el biol como fertilizante y regenerador de suelos.

Los biodigestores se han promovido como una alternativa para la mitigación de GEI debido a que aprovechan el metano producido por la descomposición de residuos. Es una tecnología conocida y probada internacionalmente, particularmente en Asia para usos domésticos. Recientemente comenzó a im-

pulsarse en México tanto a nivel familiar como a gran escala y se han difundido prácticamente dos tipos de sistemas: biodigestores de laguna con capacidad mayor a 300m³, adecuados para medianos y grandes productores, (Eaton, 2010) y biodigestores modulares diseñados específicamente para granjas pequeñas, generalmente prefabricados. El sector agropecuario nacional cuenta con un potencial anual de biogás de 1,476 millones de m³ para el ganado bovino y 652 millones de m³ para el porcino (SIAP 2008; 2010)²⁴.

Desarrollo de la Ecotecnología

Una de las instituciones más destacables por su trabajo con biodigestores, el Instituto Internacional de Recursos Renovables (IRRI, por sus siglas en inglés), desarrolló recientemente el “Sistema Biobolsa” (Fig. 2.55), un biodigestor modular de bajo costo²⁵ que ofrece una solución accesible en costos y operación para el tratamiento de los desechos pecuarios a pequeña escala. El modelo es replicable, cuenta con diferentes capacidades y se han determinado cantidades aproximadas de producción de biol y biogás de acuerdo con tres condiciones climáticas: tropical, centro y altiplano. El sistema ofrece importantes beneficios ambientales, económicos y para la salud a escala familiar y local (Sistema Biobolsa, 2014).

En el IRRI además se realiza investigación aplicada sobre esta tecnología a pequeña y a gran escala. Actualmente se investiga sobre las cantidades y dosificaciones adecuadas de biol para distintos cultivos en colaboración con el Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala (ITAT). También cuenta con un programa de desarrollo de biodigestores a gran escala en el cual han evaluado costos y beneficios y se han generado indicadores simples de factibilidad técnica, social y económica para la implementación de la tecnología.

En la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) actualmente se lleva a cabo un proyecto de rediseño y



Fig. 2.55 Sistema Biobolsa implementado en el Estado de México.
Fotografía cortesía de IRRI.

construcción de un biodigestor adecuado a comunidades rurales que además pretende implementarse en el departamento de zootecnia de la universidad. Algunos investigadores de la institución también ofrecen asesoría a pequeños productores de leche en el municipio de Zumpango, para la implementación de dicho biodigestor (Pascual, 2011).

Finalmente, en la Posta Veterinaria de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la UMSNH también se lleva a cabo investigación aplicada sobre la implementación de biodigestores en sistemas ganaderos de pequeña escala. Se pretenden desarrollar paquetes tecnológicos económicamente accesibles para pequeños productores ganaderos y se han identificado algunos obstáculos para el uso adecuado de la tecnología, como falta de asesoría técnica, ausencia de financiamiento y uso de materiales inadecuados (Esquivel *et al*, 2002). Es destacable cómo muchos de los esfuerzos para desarrollar esta tecnología a pequeña escala han involucrado al sector académico, a los productores, e incluso a OSC.

²⁴ Las poblaciones nacionales de ganado porcino y bovino lechero son de 15.8 millones (SIAP, 2010) y 2.34 millones de cabezas (SIAP, 2008), respectivamente. Los estados con mayor potencial de biogás son Guanajuato, Jalisco, Puebla, Sonora, Veracruz, Coahuila, Hidalgo México, Chihuahua y Yucatán (SIAP, 2010; Pampillón y Torres, 2012).

²⁵ Los biodigestores modulares “de bajo costo” son considerados tecnologías apropiadas por facilitar una rápida recuperación de la inversión y cubrir las necesidades de una unidad de producción familiar (Martí, SF).

Validación de la Ecotecnología

Los esfuerzos gubernamentales de validación han estado orientados hacia los biodigestores de laguna. La SEMARNAT y el FIRCO determinaron las “Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México” para asegurar la calidad, durabilidad, rendimiento y seguridad de los sistemas. Además, SAGARPA elaboró un “Manual de buenas prácticas y manejo integral de residuos pecuarios”.

Es importante tomar en cuenta que la descarga de aguas residuales de las granjas porcinas se regula bajo los lineamientos de la NOM-001-ECOL-1996 y la NOM-002-ECOL-1996, que establecen los límites máximos de contaminantes en las descargas de aguas residuales de granjas porcinas en aguas y bienes nacionales y en los sistemas de alcantarillado municipales, respectivamente. La FMVZ ha llevado a cabo mediciones para evaluar que los efluentes del biodigestor implementado cumplan con la NOM-001 y con los requerimientos de los programas federales de transferencia tecnológica (Esquivel *et al*, 2002).

No se documentaron esfuerzos relevantes para validar biodigestores de pequeña escala. Es importante tomar en cuenta que el mal funcionamiento de los sistemas puede generar desconfianza de los usuarios hacia la tecnología. Se requiere establecer algunos aspectos como la selección adecuada del tamaño, instalación, operación y mantenimiento de acuerdo al tipo de residuos para garantizar que los dispositivos funcionen adecuadamente. El Sistema Biobolsa cuenta con un manual de instalación que, además de instrucciones para la implementación del sistema mismo y la instalación de las secciones que permiten el manejo de biogás y biol, incluye elementos para determinar el perfil del usuario y diagnosticar la granja (Sistema Biobolsa, 2014).

Difusión de la Ecotecnología

Las agencias federales del país se han enfocado en promover biodigestores para granjas grandes con el objetivo de mitigar emisiones de GEI. La iniciativa privada ha contribuido ofreciendo servicios de consultoría e instalación de biodigestores de laguna, y una de las instituciones más relevantes en el tema ha sido el FIRCO.

En 2008, con la Coordinación General de Ganadería de la SAGARPA como unidad responsable y el FIRCO como unidad operativa, se implementó el Proyecto de Apoyo a la Generación y Aprovechamiento de Biogás en Explotaciones Pecuarias, que

implementó 45 biodigestores y 11 motogeneradores en 56 granjas porcinas y establos lecheros de productores primarios y empresarios del sector rural. En 2009 la generación y aprovechamiento del biogás se incluyó en el proyecto de Apoyo al Valor Agregado de Agronegocios con Esquema de Riesgo Compartido (PROVAR) y se autorizaron 116 proyectos que beneficiaron a 539 productores (FIRCO, 2010). Como parte de la línea de acción de energías renovables, en 2011 se otorgaron apoyos de hasta 1,000,000 de pesos o 50% del costo para la instalación de sistemas de digestión anaerobia a productores primarios y empresarios rurales y se distribuyeron cerca de 500 motogeneradores (FIRCO, 2011). Además, como parte de su programa de energía renovable para la agricultura, en operación desde 2000, FIRCO cuenta con un plan de financiamiento de biodigestores en los estados de Yucatán, Sinaloa, Jalisco, Guanajuato, Nuevo León, Michoacán, Edo. de México y en la Comarca Lagunera. De acuerdo con Cruz (2011) el programa generará un ahorro de electricidad de 69GW; solo en 2011 se invirtieron 68.5 millones de pesos en Yucatán para la generación de electricidad con biogás en granjas pecuarias.

Otro proyecto importante es el del Metano a Mercados (M2M, por sus siglas en inglés)²⁶, con el que la SAGARPA y la SEMARNAT han colaborado desde 2005 desarrollando biodigestores tipo laguna en los estados de Guanajuato y Michoacán. El IRRI realizó un estudio en el marco de M2M en el que de acuerdo con los datos de 95 granjas porcinas se estimó que podrían mitigarse 73,300 Mton de CO₂ al año y ahorrar 37,230 MWh en el Estado de Jalisco (Eaton, 2010).

De acuerdo con Pampillón y Torres (2012) un total de 966 sistemas de biodigestión han sido beneficiados por proyectos relacionados con la reducción de emisiones, como los *Project Design Document* (PDD)²⁷, M2M y FIRCO (Ver **Tabla 2.13**).

²⁶ M2M es una iniciativa internacional liderada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) que promueve acciones a corto y mediano plazo para la recuperación y uso del metano como fuente de energía limpia. En ella participan diversos países para intercambiar tecnología, fortalecer capacidades nacionales e impulsar oportunidades de negocio.

²⁷ El PDD es el documento clave que contiene la propuesta de diseño del proyecto de mitigación de GEI mediante una metodología que cumpla con criterios de transparencia, replicabilidad y confiabilidad.

Los biodigestores modulares para granjas pequeñas y medianas también han tenido apoyo gubernamental, aunque de menor magnitud que el que han recibido los biodigestores de laguna. El IIRRI ha generado alianzas estratégicas para diseñar e implementar programas comunitarios de disseminación del Sistema Biobolsa. Esta organización ha colaborado con instituciones financieras como el banco Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) y la Fundación Produce para que los usuarios puedan acceder a los dispositivos mediante micro-financiamientos. A través del programa de Sistema Biobolsa se han instalado más de 850 sistemas en 21 estados de la República²⁸, beneficiando a un estimado de 4,800 usuarios (Arshad, 2014).

En el modelo de operación del Sistema Biobolsa la organización funge como intermediaria entre productores y otros actores como agencias de transferencia tecnológica, instituciones educativas, de micro-financiamiento, agencias de gobierno, empresas u ONG's locales. Entre las herramientas que la organización utiliza para la difusión de los biodigestores destaca la elección del perfil de los beneficiarios de acuerdo con características y condiciones definidas, el diagnóstico específico, logístico y financiero de cada sistema productivo, así como la realización de talleres demostrativos para productores y de cursos de capacitación abiertos al público en general.

Otra organización que ha difundido biodigestores es la Fundación Produce Michoacán A.C. En 2009 y 2010, en colaboración con la SEMARNAT (Fig. 2.56), llevó a cabo un proyecto de transferencia de tecnología para el manejo integral de desechos orgánicos en la cuenca del Lago de Pátzcuaro. Se implementaron 54 biodigestores modulares en las comunidades de Yotátiro, Erongarícuaro, Tócuaro, Nocutzepo y Jarácuaro, del municipio de Erongarícuaro. Como parte del mismo programa se instalaron 75 biodigestores en el municipio de Zinapécuaro entre 2010 y 2012 (SEMARNAT, 2013).

²⁸ De los estados en los que se ha difundido el Sistema Biobolsa destacan el Estado de México y Querétaro con más de 100 cada uno y Puebla, Hidalgo, Tabasco, Tlaxcala y Yucatán con más de 50 por Estado.

PROYECTOS DE BIODIGESTORES DE LAGUNA DOCUMENTADOS			
Tipo de apoyo para el biodigestor			Total de sistemas
PDD	FIRCO	M2M	
563	399	4	966

Tabla 2.13 Número de biodigestores de laguna instalados en México hasta mayo de 2011.

Fuente: Pampillón y Torres (2012).

Monitoreo de la Ecotecnología

El mantenimiento y operación de la tecnología son demandantes, especialmente para la obtención del biogás, de ahí la importancia de un seguimiento adecuado. Generalmente los biodigestores de laguna son monitoreados por las mismas consultoras que los instalan, sobre todo si forman parte de programas guber-



Fig. 2.56 Biodigestor modular implementado por SEMARNAT.

Fotografía cortesía de SEMARNAT.

namentales. Sin embargo, garantizar el seguimiento de los biodigestores familiares aún es un reto y hasta ahora no existen estudios relevantes sobre el tema. Para asegurar la adopción de sus dispositivos, el modelo de operación del Sistema Biobolsa capacita a los usuarios para realizar el mantenimiento y uso adecuado a sus equipos. Además, han desarrollado un esquema de seguimiento que consiste en visitar periódicamente las granjas para cobrar los microcréditos y registrar el estado de los sistemas. A pesar de esto, no existen estudios sobre el tema.

ALIMENTACIÓN

La creciente conciencia ambiental que ha experimentado la sociedad y específicamente la evidencia del deterioro ecológico que causan los agroquímicos y de los impactos negativos del modelo industrial de producción de alimentos han puesto en relieve la importancia de desarrollar modelos alternativos de agricultura a través de disciplinas como la agroecología, la etnoecología y la permacultura.

La producción ecológica de alimentos comprende un universo amplio de estrategias, técnicas y estilos de vida alternativos. Su objetivo es satisfacer las necesidades productivas y garantizar el bienestar humano sin dañar el equilibrio ecológico del ambiente, integrando técnicas de conservación de suelos y biodiversidad, uso eficiente del agua y energía, aplicación de fertilizantes orgánicos o biofertilizantes y diseño de sistemas agrícolas integrados.

En México, diferentes organizaciones se han involucrado en la producción ecológica de alimentos; algunas de ellas han tenido una noción integral del manejo de los recursos y el impacto ambiental de la agricultura, otras han buscado replantear la relación entre sociedad y naturaleza, y otras más han promovido modelos de autoconsumo. A continuación se describen tres prácticas asociadas a la producción ecológica de alimentos en México.

Producción de alimentos a pequeña escala

Huertos Familiares

Los huertos familiares, solares o cultivos de traspasío son sistemas que producen alimentos para el autoconsumo familiar (aunque los excedentes pueden comercializarse para producir un ingreso económico) que consisten en parcelas, generalmente contiguas a la vivienda, donde se cultivan hortalizas de manera intensiva y continua durante todo el año (FAO, 2000; Aké *et al.*, 2002; SAGARPA, SF; Jiménez-Osornio *et al.*, 1999). En ellos se realizan prácticas productivas tradicionales y alternativas que promueven la conservación de los recursos naturales; se consideran sitios de conservación de germoplasma *in situ* por la diversidad de especies, estructuras y asociaciones que se presentan (Jiménez-Osornio *et al.*, 1999).

La incorporación en los huertos familiares de muchas de las ecotecnias descritas en las secciones anteriores permite proveer recursos adicionales (es-

pecies vegetales y animales, agua, suelo, energía) que contribuyen a mejorar la sustentabilidad de estos sistemas; por ejemplo, los SES y los biodigestores pueden producir abonos orgánicos aplicables en la agricultura; técnicas como la captación y aprovechamiento de agua de lluvia pueden disminuir la huella hídrica y/o de carbono de los sistemas, etcétera.

Desarrollo de la ecotecnología

En décadas recientes se han consolidado varios actores en México que, mediante ranchos demostrativos, talleres, cursos, seminarios y asesorías, promueven los huertos familiares y la permacultura como parte central de un estilo de vida alternativo, en armonía con el ambiente. A continuación se presenta una breve descripción de las más relevantes:

- a) Tierramor, la granja ecológica familiar autosuficiente, un espacio permacultural experimental en el que se ofrecen cursos y talleres prácticos sobre el cultivo de hortalizas biointensivas y huertos medicinales (Hieronimi, 2006).
- b) La Granja Orgánica Tequio, un espacio demostrativo de los principios de permacultura, agricultura y construcción sustentable, ecotecnología y educación.
- c) El grupo Hombres de Maíz posee un huerto que alberga diversas especies vegetales, leguminosas, frutos, flores y plantas medicinales y chinampas biointensivas donde se producen pescados y mariscos, verduras y granos. Ofrece talleres de cultivo biointensivo, acuaponía e hidroponía natural.
- d) La cooperativa Las Cañadas Bosque de Niebla cuenta con sistemas agroecológicos como el huerto biointensivo (**Fig. 2.57**), el cual produce alimentos para el consumo de sus socios. Ofrece cursos prácticos de agroecología, cultivo biointensivo y bosque-huerto comestible.
- e) El centro de aprendizaje e intercambio de saberes (CAIS) del COLPOS en Veracruz: un centro demostrativo de huertos donde se producen cercas vivas de frutales, hortalizas, condimentos y plantas medicinales a cielo abierto y hortalizas hidrófilas, y se integra la agro-acuicultura (cultivo de especies acuáticas) y la ganadería al solar familiar (se producen alimentos para los animales y sus desechos se usan para producir abonos orgánicos (Álvarez y Olguín, SF)).



Fig. 2.57 Huerto biointensivo de la Cooperativa Cañadas Bosque de Niebla.

Fotografía cortesía de Cooperativa las Cañadas Bosque de Niebla.

f) La Red de Alternativas Sustentables Agropecuarias de Jalisco (RASA), que trabaja con más de 21 municipios de Jalisco, establece parcelas agroecológicas locales y comunitarias para el fortalecimiento de capacidades de los campesinos. Además, organiza encuentros para el intercambio de experiencias de las comunidades sobre sus parcelas y los campesinos de la RASA imparten talleres de agricultura ecológica (Bernardo y Fuentes, 2013).

Un gran número de Universidades y Centros de Investigación tienen trabajos relacionados con los huertos familiares. Tan solo en el Sureste del país, la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, la UADY, la Universidad Intercultural del Estado de Tabasco, la Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo, el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, el centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN, el COLPOS en Ciencias Agrícolas, la Universidad Iberoamericana (UIA), la UNAM y el Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), participan activamente en este tipo de investigaciones (Mariaca, 2012). En el COLPOS se ha evaluado la productividad de los distin-

tos métodos de cultivo operados en el CAIS Veracruz (Álvarez, SF); en la UADY se han realizado proyectos de investigación acerca del manejo, conservación, biodiversidad y servicios de los huertos familiares (Montañez-Escalante *et al*, 2012); en el ECOSUR se realizó un estudio de la diversidad vegetal de solares en la zona de amortiguamiento de la Reserva de Calakmul, Campeche y del empoderamiento de las mujeres hacia los mismos (Perea-Mercado *et al*, 2012); y el FpCVB analizó el tiempo y dinero ahorrados por los usuarios que implementaron los huertos (Bonfil, 2012).

Varios de éstos, además de la producción ecológica de alimentos en asociación a principios éticos, promueven otras prácticas ecológicas: la bioconstrucción, los sistemas integrados de ecotecnia para el manejo del agua, residuos y energía, y el desarrollo social por medio de la educación, el rescate de la cultura y los conocimientos tradicionales.

Validación de la Ecotecología

La normatividad y certificaciones aplicables a los huertos familiares están más bien relacionadas con

la producción orgánica de alimentos²⁹ y regulan factores como su impacto social, ecológico y económico. En 2010 se publicó el reglamento de la Ley de Productos Orgánicos, en el cual se precisan las disposiciones necesarias para obtener la certificación orgánica y se establece que la certificación participativa orgánica solo es aplicable a producción familiar o pequeños productores organizados que vendan sus productos directamente al usuario final, y detalla los requisitos para ser un organismo de certificación orgánica. Anteriormente, la NOM-037-FITO-1995 establecía las especificaciones del proceso de producción y procesamiento de los productos agrícolas orgánicos, sin embargo fue cancelada en 2010 por considerarse innecesaria.

Se documentó que la empresa México Tradición Orgánica (Metrocert) ofrece servicios de certificación de productos orgánicos y de capacitación en asesoría y revisión de certificaciones. Cuenta con varios tipos de certificación, entre ellos la certificación participativa del excedente de la producción de autoconsumo para el mercado local y la producción de pequeños productores para el mercado estatal; estas son autogestionadas por los mismos productores, quienes realizan la verificación de las condiciones de su producción y comercializan su producción en tianguis o mercados.

Difusión de la Ecotecnología

OSC y agencias gubernamentales difunden huertos familiares no solo para promover estilos alternativos de vida, sino también como herramientas para combatir el déficit alimentario y la pobreza. De éstas, algunas de las más relevantes son GRUPEDSAC, que ha implementado huertos para la producción intensiva de hortalizas en Oaxaca y ofrece talleres de siembra de hortalizas orgánicas; Tierramor, que tiene publicaciones sobre hortalizas escolares de un proyecto de educación ambiental que llevó a cabo en el Centro Educativo de Pátzcuaro (Hieronimi *et al.*, 2009); el FpCVB, que ha implementado 1,500 huertos de traspatio (Fig. 2.58) en comunidades rurales de la Cuen-



Fig. 2.58 Huertos de traspatio difundidos por el Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo.

Fotografía: cortesía de Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo.

ca para combatir la desnutrición y disminuir la deforestación por la demanda de áreas de cultivo (Bonfil, 2012); el Gobierno Federal, que inició en 2012 su programa nacional “Cruzada contra el Hambre”, con el que se pretenden establecer 53,382 huertos familiares en 400 municipios y localidades del país que corresponden a las zonas de mayor pobreza en cada una de las entidades federativas, como medida para combatir la pobreza; SAGARPA, que cuenta con fichas técnicas para la elaboración y mantenimiento de huertos familiares y de plantas medicinales y con una ficha de granja ecológica integral que incluye la vivienda, los animales y el reciclaje de sus desechos, el aprovechamiento de fuentes alternativas de energía, el procesamiento de productos agropecuarios y la captación de agua de lluvia; y la Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco, que diseñó y aplicó el Programa de Ordenamiento de Traspatio en el que se promovió la producción de hortalizas en huertos familiares y se documentaron los aspectos económicos y tecnológicos relacionados (Whizar, 2012).

Monitoreo de la Ecotecnología

Las únicas acciones documentadas de monitoreo de huertos son las que SAGARPA y SEDESOL llevaron a cabo al evaluar el aprovechamiento de huertos familiares para la producción de hortalizas como parte de la Cruzada Nacional contra el Hambre en el Estado de Puebla (SAGARPA, 2013).

²⁹ La producción orgánica se basa en el cumplimiento de ciertos lineamientos como no usar aditivos químicos ni organismos genéticamente modificados con la finalidad de lograr sistemas sostenibles desde puntos de vista sociales, económicos y ecológicos. Fomenta la salud de los agroecosistemas incluyendo su biodiversidad, ciclos y actividad biológica en el suelo, así como también da preferencia al uso de técnicas culturales, biológicas y mecánicas, en lugar de insumos sintéticos (FAO, 2007).

Control de Plagas

Control Biológico

En el control biológico de plagas o uso de bioplaguicidas (**Fig. 2.59**) se utilizan enemigos naturales o competidores vivos como ácaros, caracoles, vertebrados, plantas, virus, bacterias, hongos, nematodos, insectos y otras entidades bióticas inocuas para mantener la densidad de población de un organismo plaga a un nivel que no cause daños importantes y que permita mantener la sustentabilidad del agroecosistema (García-Gutiérrez y González-Maldonado, 2012; Rodríguez-del-bosque y Arredondo-Bernal, 2007; Barrera, 2007; Wilson y Huffaker, 1976). Se ha documentado que esta técnica puede dar muy buenos resultados a pequeños productores y que los programas gubernamentales de subsidios a las inversiones iniciales y a parte de su producción han sido exitosos (Alcázar *et al.*, 1994; Sinha, 1998).

Desarrollo de la Ecotecología

Aunque existe evidencia que indica que ha sido practicado en culturas antiguas, el control biológico como método científico nació hasta el final del siglo XIX y fue introducido a México en el siglo XX (Rodríguez-del-Bosque y Arredondo-Bernal, 2007). Desde entonces los principales desarrolladores han sido laboratorios científicos particulares y académicos. En el año 2006, 60 laboratorios producían y distribuían 35 especies de agentes de control biológico en el país (Rodríguez-del-Bosque y Arredondo-Bernal, 2006; Arredondo-Bernal, 2007). Actualmente 68 empresas de capital nacional, la mayoría pequeñas y medianas, producen los bioplaguicidas comerciales de México; de éstas, Ultraquimia Agrícola S.A. de C.V, Agrobiológicos del Noroeste S.A. de C.V., Desa-

rollo Lácteo S.P.R. de R.L. y Gaia Asesoría Integral Ambiental son las que manejan la mayor variedad de productos (García-Gutiérrez y González-Maldonado, 2012). Las principales instituciones mexicanas que publican investigaciones relacionadas con el control biológico son: la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), el COLPOS, el IPN, el ECOSUR, la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), la Universidad de Colima (UdeC), la UNAM y la UACH (Rodríguez-del-Bosque y Arredondo-Bernal, 2007).

De acuerdo con García de León y Mier (2010a), a pesar de las ventajas de los bioplaguicidas, su difusión se ha visto limitada por los siguientes factores: la articulación insuficiente de la investigación con productores y consumidores, la limitada expansión de la industria, la baja disponibilidad de canales de comercialización, el desconocimiento que los productores agrícolas tienen sobre la forma en que actúan y deben aplicarse, y la carencia de recursos humanos calificados, de apoyos gubernamentales y de políticas de Estado para la reducción o eliminación de los agroquímicos.

Validación de la Ecotecología

Los agentes de control biológico están sujetos a regulaciones y pruebas de bioseguridad que evalúan su patología y toxicología en el hombre y los organismos no-blanco, y su impacto en el ambiente para asegurar que su aplicación no sea dañina. En el país este control se lleva a cabo mediante un sistema de registro nacional en la Comisión Federal de Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) que prueba y controla la fecha de producción, concentración, viabilidad,



Fig. 2.59 Gallina ciega infectada por hongos entomopatógenos.

Fotografía cortesía de Miguel Nájera.

pureza microbiológica, actividad bio-controladora y tipo de formulación de cada producto para autorizar su fabricación y venta. Además, la Sociedad Mexicana de Control Biológico (SMCB) y el Gobierno Federal han buscado definir una normatividad que regule la movilización y calidad de los agentes de control biológico importados y producidos en el país (Arredondo-Bernal y Hernández, 2002; Rodríguez-del-Bosque y Arredondo-Bernal, 2007). Internacionalmente, agrupaciones como la FAO, la Organización Mundial de la Salud, el Grupo Internacional de las Asociaciones Nacionales de Manufactura de Agroquímicos, la Organización Internacional de Control Biológico, la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) de Estados Unidos, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), y la Unión Europea, han contribuido al desarrollo de procedimientos para el registro de plaguicidas microbianos (Arredondo y Hernández 2002; Rodríguez y Arredondo, 2007).

Difusión de la Ecotecnología

Las aplicaciones de bioplaguicidas de mayor magnitud y cobertura en el país han sido las que se han hecho sistemáticamente como parte de las campañas fitosanitarias financiadas por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), gobiernos estatales y Organismos Auxiliares de Sanidad Vegetal (en las Campañas Fitosanitarias de Importancia Económica de los años 2008 y 2009, por ejemplo, se trataron 557,624 hectáreas con bioplaguicidas) (García de León y Mier, 2010). Otras organizaciones que también han difundido la tecnología son: el Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB), que ha realizado campañas fitosanitarias en las que se promueve el uso de organismos benéficos como agentes de control biológico (SENASICA, 2013); el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del IPN, el cual capacitó a productores de comunidades rurales en Durango en la producción artesanal de hongos entomopatógenos para el control de plagas en hortalizas (García de León y Mier *et al*, 2010); y la organización Ecosta, que difunde una avispa microscópica parásita de la mosca prieta de los cítricos (*Aleurocantus woglomi*) como agente de control biológico, ha generado experiencia en cría de *Barcon*, *Tricogramma* y *Crisopa* para controlar plagas como el cogollero, pulgón y la mosca blanca, y cuenta con plantaciones de árbol Nim (*Azadirachta Indica*), de los cuales es posible obtener un producto con propiedades plaguicidas (Ecosta, SF).

Monitoreo de la Ecotecnología

Toriello y Mier (2007) afirman que solo a través de estudios a largo plazo es posible determinar la bioseguridad de los bioplaguicidas; sin embargo, no se documentó ninguna dependencia, organización o institución encargada de monitorear el control biológico.

Fertilización

Biofertilizantes

Los biofertilizantes son insumos de origen biológico que se aplican al suelo para mejorar la disponibilidad de nutrientes, favoreciendo el desarrollo y el rendimiento de los cultivos y la estabilidad de los agroecosistemas y del ambiente (Alemán *et al*, 2003; Mehta *et al*, 2012; Devi *et al*, 2012; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). Biofertilizantes comunes son: excremento del ganado, precultivos, biochar, biosólidos y hongos micorrízicos, los cuales tienen diversas funciones y algunos incluso están especializados en ciertos cultivos. Los más difundidos han sido los hongos (micorrizas, *Trichoderma*, *Penicillium* y *Aspergillus*), una opción económica para pequeños productores, y las bacterias (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Gluconacetobacter*, *Azotobacter* y *Azospirillum*, Nostoc y Anabaena) (Grageda-Cabrera *et al*, 2012; All-Taweil *et al*, 2009; Ramírez y Mendoza-Zazueta, 1998; Alejandro *et al*, 1995) (Fig. 2.60).

Además del uso de biofertilizantes para mejorar la fertilidad del suelo existe un amplio trabajo sobre el uso de abonos orgánicos como la composta y lom-



Fig. 2.60 Raíz de maíz criollo asociado con calabaza y frijol inoculado con *Azospirillum* y micorrizas.

Fotografía cortesía de Biosustenta.

bricultura. La composta es el producto de la descomposición aeróbica controlada de residuos orgánicos (excremento de animales herbívoros, residuos vegetales, de la comida y agroindustriales) por acción de bacterias y hongos. El método para su producción es económico y fácil de implementar (SARGARPA, SF). Su uso es promocionado por instancias gubernamentales como el Instituto Nacional de Ecología (INE) (ahora Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático – INECC), SEMARNAT y varias OSC que han desarrollado manuales para la elaboración doméstica, uso y recomendaciones de este abono. La lombricultura, variante de la composta, es el abono que se obtiene de la descomposición de desechos orgánicos por acción de lombrices, y puede producirse a pequeña escala (producción familiar) utilizando contenedores de bajo costo (SARGARPA, SF)³⁰.

A pesar del amplio conocimiento existente en torno a las compostas y abonos orgánicos, la presente subsección se enfoca en el uso de organismos benéficos como biofertilizantes.

Desarrollo de la Ecotecnología

Desde hace casi 100 años se producen inoculantes comerciales a base de *Rhizobium spp.*, pero no fue sino hasta las crisis energéticas de la década de 1970 que el estudio de los biofertilizantes cobró fuerza (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012). Aunque en México, como en toda Latinoamérica, éste fue más lento que en otros países, en 1980 se creó el Centro de Investigaciones sobre Fijación de Nitrógeno (ahora Centro de Ciencias Genómicas) de la UNAM específicamente para desarrollar investigación enfocada a entender las bases moleculares de la fijación de nitrógeno y usar este conocimiento en el mejoramiento de la agricultura. Actualmente el INIFAP es una de las instituciones más relevantes en cuanto a investigación y producción de biofertilizantes en nuestro país y ha sido pionera en la evaluación extensiva de estos productos y en los procesos de transferencia de la tecnología a los productores (Aguado-Santacruz, 2010).

Los principales productores de biofertilizantes en México son pequeñas empresas como Biofábrica Siglo XXI (que desde 2003 trabaja en colaboración con la UNAM), Plant Health Care de México, Agro Orgá-

nicos GAIA S. de P.R. de R.L. y Biosustenta; instituciones de educación e investigación y el INIFAP. La aplicación de biofertilizantes a gran escala ha enfrentado serias dificultades en su promoción y distribución a pesar de ser apoyada por el Gobierno Federal y los Gobiernos Estatales (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012).

Validación de la Ecotecnología

El Programa de Investigación sobre Biofertilizantes del INIFAP (el cual ya ha evaluado la calidad de los productos de varias marcas en el mercado) dedica un apartado a la evaluación de la calidad de biofertilizantes comerciales. Sin embargo, no se encontraron organismos o instituciones encargadas de la validación de esta tecnología.

Muchos investigadores han afirmado que la existencia de mecanismos que regulen la calidad de los biofertilizantes y bioinsecticidas, y de una mayor vinculación entre la industria y la academia permitiría mejorar la calidad de los inoculantes que se ofrecen en el mercado, y de la tecnología que se emplea en su producción, evitando que los agricultores adquirieran productos de baja calidad (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012).

Difusión de la Ecotecnología

Durante las décadas de los setenta y ochenta, los biofertilizantes fijadores de nitrógeno tuvieron mucho impacto y fueron difundidos por algunos centros de investigación (Armenta-Borjójquez *et al.*, 2010; INIFAP, 1990); en 1999 y 2000 SARGARPA, en convenio con la UNAM, incorporó el uso de biofertilizantes a uno de sus programas, por lo que se emplearon en cerca de dos millones de hectáreas de diversos cultivos (aunque el programa desapareció en 2000, este acercamiento a la tecnología creó confianza en los productores cooperantes, que ahora la utilizan como parte integral de sus sistemas productivos) (Aguado-Santacruz, 2010).

Actualmente la mayoría de las empresas desarrolladoras de biofertilizantes son PyMEs que no tienen la capacidad de desplegar campañas masivas de promoción, por lo que los canales de difusión con que cuenta esta tecnología son los mecanismos de apropiación, las publicaciones científicas sobre el tema y los programas y proyectos de SARGARPA, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), INIFAP y los gobiernos de algunos estados (entre los cuales destacan los de Morelos, Guerrero y Michoacán) que promueven su investigación, producción y uso. Tam-

³⁰ Para mayor información véase Capítulo 2: Producción de composta doméstica de GTZ, INE y SEMARNAT (2006) disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Paginas/FichasTecnicasAgricolas.aspx>

bién se han organizado numerosos foros de discusión sobre el uso de biofertilizantes en el cultivo de granos en México y se prevé que su uso será promovido (Caballero-Mellado *et al*, 2009).

Monitoreo de la Ecotecnología

Distintas instituciones se encargan de realizar estudios de campo en conjunto con productores, brindando información sobre el funcionamiento de la tecnología. Sin embargo, no se encontró ninguna dependencia o institución encargada específicamente de dar seguimiento al uso de la tecnología o a su apropiación. Muchos de los programas y proyectos relacionados con biofertilizantes que se han llevado a cabo han incluido estrategias de monitoreo. El INIFAP y la UNAM han estado a cargo del seguimiento de muchos de éstos y han encontrado resultados positivos en casi todos los casos. Además, algunos productores usuarios han sido entrevistados, pero sus opiniones al respecto varían desde la confianza y la aceptación del producto hasta la desconfianza y la incertidumbre (Armenta-Borjónquez, *et al*, 2010).

Alternativas, Redes y Vías de Comercialización

Existen diferentes redes ecológicas de producción y consumo de alimentos, la mayoría de ellas enfocadas en la promoción de productos orgánicos. Algunas de ellas han incorporado la utilización de ecotecnias en los sistemas productivos e incluso en los medios de difusión para el consumo de los productos. Una de ellas es la Red Tsiri, organización del Estado de Michoacán conformada por 600 mujeres microempresarias que trabajan en la elaboración de tortillas utilizando variedades regionales de maíz producidas en sistemas de bajo impacto ambiental. Las tortillas se producen en talleres domésticos para el cocido del grano utilizando estufas de leña mejoradas. Es una organización que, además de estar vinculada con actores académicos y gubernamentales, usa ecotecnias, fortalece el papel de la microindustria y contribuye a la conservación *in situ* de la biodiversidad de la región. En ella participan gobiernos municipales, el gobierno estatal e instituciones académicas como la UACH, el INIFAP y la UNAM.

Recientemente han surgido un gran número de establecimientos temporales en varias partes de la República Mexicana en los que se promueve el consumo de productos orgánicos y ecológicos. Estas iniciativas generan una oferta para los consumidores responsa-

bles y ofrecen un mercado a los productores. Existe una Red Mexicana de Tianguis y Mercados Orgánicos que desde 2004 promueve el desarrollo del mercado nacional, fomenta el consumo de productos orgánicos y promueve el intercambio directo entre productores y consumidores. Actualmente cuenta con 1,136 miembros y 20 mercados distribuidos a lo largo del país. En el Estado de Jalisco, por ejemplo, existe una Red de Agricultura Orgánica Urbano-Rural conformada por diferentes organizaciones locales; hasta la fecha, este grupo ha organizado 10 encuentros regionales sobre “Agricultura orgánica y ecotecnias” dirigidos a personas practicantes e interesadas en el tema tanto de la ciudad como del campo. La asociación Capacitación, Asesoría, Medio Ambiente y Defensa del Derecho a la Salud (CAMADDS) trabaja con 33 mujeres de Chiapas sobre la producción de alimentos tradicionales promoviendo el uso de tecnología como estufas de leña mejoradas y en la vinculación entre productores, procesadoras y consumidores a través de la organización de festivales (Silva, 2012).

También están creándose empresas dedicadas a comercializar alimentos ecológicos. En el Distrito Federal existe una cadena de restaurantes denominada *The Green Corner* que promueve la venta de productos ecológicos y cuenta con una red de proveedores conformada por más de 300 productores de alrededor de 70 localidades de diferentes regiones del país (The Green Corner, 2009). Además de ello, han implementado distintas ecotecnias en sus tiendas y cuentan con un rancho agroecológico demostrativo en donde también se imparten cursos y talleres para la difusión de la agricultura orgánica.

El ámbito de la producción ecológica de alimentos es muy amplio y aborda desde las tecnologías utilizadas en los sistemas productivos hasta los medios de transformación y consumo de los alimentos. Disminuir el impacto ambiental y promover relaciones justas es posible en los diferentes eslabones de la cadena productiva y comercial y la incorporación de ecotecnias puede contribuir al fortalecimiento y promoción de nuevos modelos alimentarios sustentables.

Existen experiencias sobre la transformación de sistemas de producción convencionales a sistemas de producción alternativos y de bajo impacto. En la comunidad de Napízaro, Michoacán, los productores trabajan en la elaboración de abonos orgánicos y verdes, además de realizar prácticas de labranza de conservación para proteger el suelo.

VIVIENDA

En una vivienda confluyen muchas necesidades humanas básicas además del acceso a un sitio donde habitar, y la mayoría de ellas hoy en día dependen de insumos externos, consumen grandes cantidades de energía (en México, el consumo de energía en edificios corresponde a más del 16% del consumo total de energía (Ambriz, 2012) y generan grandes cantidades de residuos. Las ecotecnologías pueden contribuir a reducir los impactos ambientales tanto de construir como de habitar una vivienda, mejorando la forma en que se producen y se emplean la energía y el agua, la forma en que se manejan los residuos, etcétera.

Las viviendas rurales y urbanas son distintas en la forma en que se construyen y consumen sus recursos. Mientras las primeras suelen consumir una gran cantidad de materiales y energía fósil, la arquitectura rural se caracteriza por su sencillez. Sin embargo, las técnicas tradicionales de construcción ligadas a los recursos locales y las condiciones del entorno ecológico-cultural se han ido abandonando. Reducir la huella ecológica de la vivienda es un reto que no solo ha requerido la generación de innovaciones tecnológicas, sino también el rescate de técnicas tradicionales de bajo impacto y uso eficiente de los recursos naturales. A continuación se describen algunas de las iniciativas ecotecnológicas de mayor relevancia de México en cuanto a la construcción y diseño de los inmuebles y su consumo de agua y energía.

Diseño y Construcción de la Vivienda

Principios de Diseño

La arquitectura bioclimática (o diseño bioclimático) puede definirse como la arquitectura diseñada para lograr un máximo confort con el mínimo gasto energético, aprovechando para ello las condiciones climáticas de su entorno y transformándolas en confort interno gracias a un diseño inteligente; si en algunas épocas del año fuese necesario un aporte energético extra, se recurriría en lo posible a fuentes de energía renovables (García, 2008). De acuerdo con Lengen (1997), los tres aspectos que deben considerarse en la construcción de una vivienda y que definirán su orientación y ubicación son: sol, lluvia y viento (véase Fig. 2.61).

CRITERIOS DEL BIOCLIMATISMO

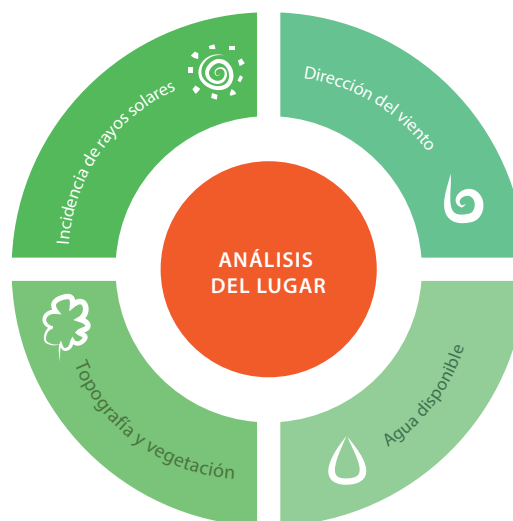


Fig. 2.61 Criterios principales para el análisis del lugar de construcción.

Fuente: Elaboración propia.

En México, el diseño bioclimático ha sido incorporado a la normatividad a nivel estatal y federal: los gobiernos de Colima, Mexicali, Querétaro, Cuernavaca y Guanajuato han desarrollado reglamentos de construcción que integran elementos de diseño bioclimático (Morillón, 2011); el Código de Edificación de la Vivienda de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) cuenta con un capítulo de sustentabilidad en el que se toma en cuenta el diseño bioclimático; la actual Estrategia Nacional de Vivienda Sustentable pretende promover un enfoque integral de la vivienda con elementos bioclimáticos que den a los habitantes confort térmico a un menor coste energético (Fidea, 2011); y en el Distrito Federal se está aplicando desde 2009 el Programa de Edificaciones Sustentables (PCES), creado ante el Comité Promotor de Edificaciones Sustentables (COPES) y que tiene por objetivo transformar las edificaciones actuales y construir las futuras de manera sustentable y eficiente otorgando incentivos económicos a los constructores.

Materiales de Construcción

Actualmente en México la construcción ecológica utiliza una gran variedad de materiales: tierra compactada (adobe), paja, cob, bajareque, bambú, costales de arena, botellas de plástico y vidrio, aglomerados de latas y otros materiales de reúso, ferrocemento, neumáticos, madera y demás. A pesar de



Fig. 2.62 Taller de construcción con adobe.

Fotografía cortesía de Eco-constructores.



Fig. 2.63 Casa construida con adobe.

Fotografía cortesía de Eco-constructores.

esto, la normatividad oficial aún promueve los materiales de construcción convencionales, restringiendo el alcance de los financiamientos que las otras técnicas y materiales más amigables con el ambiente podrían recibir. De acuerdo con Rosas (2007), los intereses de las cementeras e incluso de las mismas autoridades han influido en esto, frenando importantemente al avance de la bioconstrucción. A continuación se describen tres alternativas que han sido recientemente promovidas en diferentes regiones del país.

Viviendas de Adobe

El adobe es un ladrillo de lodo, paja y agua, amigable con el ambiente, con propiedades de regulación térmica y utilizable en todo tipo de climas (Morales *et al*, 1993); se emplea desde la época prehispánica y desde entonces ha estado presente en la vivienda popular mexicana; aunque, de acuerdo con Schumacher (2005), la vivienda de adobe ya no es un sím-

bolo deseable para muchos campesinos y la técnica tradicional de elaboración se ha perdido en muchos lugares, causando que se construyan casas inseguras y de mala calidad. En México el adobe puede ser una buena alternativa de construcción en áreas rurales y peri-urbanas para el amplio sector de la población que carece de vivienda (Fig. 2.62).

Complementando el amplio conocimiento autóctono que se tiene del adobe, la UdeC, el IPN y la UNAM han realizado investigación sobre las propiedades del material y algunas OSC han desarrollado nuevas formas de utilizar esta tecnología (Fig. 2.63). La organización Ayúdame que yo También soy Mexicano (ATM) promueve viviendas construidas colectivamente con bloques de adobe tecnificado, llamados “machihembloques”, hechos con tierra de la región y un 10% de cemento (ATM, 2013), financiados por medio de “bonos sociales”, en los que las familias realizan actividades a las que se les asigna un valor económico real.

“Échale a tu casa” es otra experiencia similar que promueve la participación comunitaria en la construcción de viviendas a base de un material llamado “Adoblock”. Su forma de trabajo consiste en organizar un comité ciudadano para que se encargue de diseñar y ejecutar el proyecto, el cual es financiado con la ayuda de préstamos de la CONAVI, la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF) y la inversión de los ahorros de las familias, mientras que “Échale a tu casa” proporciona la maquinaria para producir los bloques de adobe, asesoría técnica y capacitación financiera y de construcción. Otra institución que ha incursionado en la investigación referente al adoblock es la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), donde, desde la Facultad del Hábitat, se ha estudiado y comparado materiales industrializados (block de cemento) y materiales alternativos (barro, mezcla cemento-cal, mezcla adobe-cal) para determinar los beneficios que se pueden obtener en cuanto a los gradientes de temperatura de los hogares (Algara-Siller *et al*, 2012).

Aunque algunas normas y certificaciones internacionales como las ASTM y el Öko Test establecen estándares de calidad para el adobe, en México no es común el adobe certificado. Solamente el Adoblock está certificado por el Infonavit, la SHF y el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCyC). Validar o certificar este tipo de material puede ser muy útil para asegurar su seguridad y calidad, y prevenir accidentes.

Solo se documentó una organización que realiza monitoreo en construcciones de adobe: la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), a través de su proyecto de monitoreo de viviendas con criterios de ahorro de energía en el norte del país y de la evaluación que hace del consumo energético de las viviendas de interés social que cuentan con ecotecnologías (CONUEE).

Viviendas de Paja

La paja es otro material con propiedades bioclimáticas por su gran capacidad de aislamiento térmico, mayor que la de la madera, los ladrillos y el adobe (Casillas, 2011). Esta técnica de construcción es sencilla, además de que requiere menor tiempo y labor especializada en su construcción en comparación con el concreto, sin embargo, la CONAFOR indica que las construcciones de paja necesitan una cimentación más compleja y mantenimiento especial. Otros estudios realizados por la CONAFOR, la UIA y el Instituto Tecnológico de Zacatecas han demostrado que las pacas de paja tienen capacidades de resistencia estructural y sísmica, y que las construcciones de paja son resistentes al fuego cuando ésta está firmemente compactada y recubierta de modo que la ausencia de aire impida la combustión (CONAFOR, 2008). Además, la paja es un residuo agrícola que los productores muchas veces queman para deshacerse de él (Rosas, 2012), por lo que su utilización como material de construcción puede contribuir a mitigar emisiones de GEI.

La construcción con paja no es una práctica común en México y no se ha implementado de forma masiva, sin embargo, organizaciones como GRUPED-SAC, Laboratorio de Arquitectura Básica MX, Ecoconstructores (Fig. 2.64) y Proyecto San Isidro, han contribuido a su difusión a través de capacitaciones, cursos y talleres.

Viviendas de PET

De las 738 mil toneladas de politereftalato de etileno (PET) que se producen en México cada año, solo el 15% se recicla (Tamborrel, 2011). Como material de construcción, el PET tiene buenas propiedades de resistencia estructural, térmica y de aislamiento acústico, por lo que la construcción con PET es una alternativa reciente que podría servir para reusar parte de estos residuos. Actualmente instituciones como la UAM, la UNAM, la UASLP y el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CI-

DETEQ) en Querétaro están realizando investigación al respecto; el CIDETEQ, en colaboración con la Red de Investigación e Innovación de Vivienda Sustentable de Bajo Costo (RIIVSBC) y con financiación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONA-



Fig. 2.64 Construcción con paja, madera y adobe.
Fotografía cortesía de Eco-Constructores.

CYT), construyó varios prototipos de viviendas rurales con botellas de PET (Fig. 2.65); la Fundación Liderazgo Joven cuenta con proyectos en Tlaxcala y Quintana Roo donde ha construido viviendas de “ladribotellas”: botellas rellenas de aserrín, tierra o arena a presión con una máquina patentada por ellos mismos (Liderazgo joven, 2012). Otras técnicas de construcción utilizan cubos de PET compactado o botellas vacías con un aplanado de cemento. No se documentaron esfuerzos de monitoreo ni alguna certificación para las viviendas de PET.



Fig. 2.65 Construcción con PET y paja.
Fotografía cortesía de José de Jesús Pérez Bueno, CIDETEQ.

Implementación de Ecotecnias en la Vivienda

Actualmente en México iniciativas sobresalientes de implementación de ecotecnias en la vivienda han sido promovidas (principalmente en áreas urbanas) por programas federales y los principales desarrolladores de viviendas de la iniciativa privada. De hecho, buena parte de los esfuerzos gubernamentales para promover la sustentabilidad en la vivienda ha consistido en reducir el consumo de agua y energía con ecotecnias.

El programa gubernamental más sobresaliente ha sido Hipoteca Verde: un esquema de créditos para derechohabientes del Infonavit que les permite implementar ecotecnias en sus viviendas. Inició en 2007 y en 2011 se volvió aplicable en todos los desarrollos inmobiliarios financiados por la institución (Infonavit, 2011). En octubre de 2012 ya se habían otorgado un millón de créditos y se había beneficiado a aproximadamente 3.8 millones de personas (Infonavit, 2012). El Infonavit ha monitoreado los impactos ambientales y económicos del programa y la percepción de los usuarios: durante el período 2009-2011 se determinó un ahorro de 0.78 toneladas de CO₂e por vivienda por año y un alto grado de satisfacción en el 95% de las familias (Infonavit, 2011). Las tecnologías y proveedores elegibles para Hipoteca Verde son determinadas y validadas por el Infonavit en función de su eficiencia energética, consumo de agua y de su capacidad para amortizar la inversión en pocos años (Fidea, 2011). Las ecotecnias disponibles varían de acuerdo con la zona bioclimática pero las más comunes son CSA, regaderas y sanitarios ahorradores, y CFL. En 2009 se volvió obligatorio que las viviendas contaran con estas tecnologías para ser elegibles en el programa. Ésta es tu Casa de la CONAVI, el cual otorga subsidios a la población de bajos ingresos para que pueda acceder a una vivienda.

Otro esfuerzo importante del Infonavit ha sido la puesta en marcha del Sistema de Evaluación de Vivienda Verde (SISEVIVE) a finales de 2013, considerado el primer paso hacia la certificación de la vivienda en México (Infonavit y GIZ, 2012). Con él se pretende crear un sistema nacional de evaluación del desempeño ambiental de la vivienda con base en su arquitectura, materiales de construcción y ecotecnias implementadas (Fidea, 2013).

Además de las iniciativas federales, el Gobierno del Distrito Federal (GDF) promueve la instalación de ecotecnias mediante el Programa de Vivienda

Sustentable de su Instituto de Vivienda (INVI), el cual forma parte a su vez del Programa de Acción Climática del GDF y cuenta con un Sistema de Administración Ambiental (SAA) que asiste técnicamente al INVI y cuantifica sus impactos ambientales. Se estima que entre 2008 y 2012 se mitigaron 30,000 toneladas de CO₂e por la implementación de CSA, SCALL y sistemas ahorradores de energía eléctrica y agua potable en más de ocho mil viviendas (GDF, 2012). El Fondo Sectorial de Sustentabilidad Energética SENER-CONACYT es otro apoyo gubernamental que impulsa la investigación de fuentes renovables de energía, eficiencia energética, uso de tecnologías limpias y la diversificación de fuentes primarias de energía.

En las áreas rurales las iniciativas gubernamentales para instalar ecotecnias han sido escasas, de menor envergadura y por lo general orientadas a la dignificación de la vivienda. Los actores más activos en cuanto a la implementación de programas en estas zonas han sido OSC; dos ejemplos de ello son la iniciativa familiar Tierramor, que ha implementado ecotecnias en comunidades rurales mediante el Programa de Atención a Zonas Prioritarias de la SEDESOL y la empresa Eco-Constructores Oaxaca, la cual brinda asesoría en la construcción natural en comunidades y escuelas, impulsando el uso de materiales locales y residuos urbanos, la recuperación de técnicas tradicionales de construcción y promoviendo ecotecnias como huertos familiares, sanitarios ecológicos secos, filtros y sistemas para aguas jabonosas, tanques de captación de agua de lluvia, estufas ahorradoras de leña y hornos de tierra, todo esto a través de talleres que promueven la construcción solidaria y el voluntariado. Las principales tecnologías difundidas por OSC y programas de gobierno han sido estufas de leña mejoradas, SES y sistemas de captación de agua pluvial, todas ellas descritas en las secciones previas de este libro.

Las iniciativas de implementación de ecotecnias en la vivienda son muy diferentes entre las áreas rurales y las urbanas: en las segundas, el objetivo de los programas relacionados con vivienda sustentable ha sido reducir el impacto ambiental sin comprometer la calidad de vida de los habitantes (Fidea, 2011), mientras que en las áreas rurales la implementación de ecotecnias ha contribuido a disminuir la degradación ambiental y a mejorar la calidad de vida de la población.

EXPERIENCIAS INTEGRALES

A lo largo del territorio nacional se han generado procesos de desarrollo comunitario en torno al manejo sustentable de los recursos naturales y la implementación de ecotecnologías en zonas rurales marginadas que han buscado mejorar sus condiciones ambientales y de vida y generar procesos de transformación social. Algunas de las organizaciones que han facilitado dichos procesos lo han hecho a través de iniciativas ecotecnológicas integrales, es decir, implementando tecnologías que permiten resolver más de una necesidad básica; la pobreza es un fenómeno multidimensional y la ausencia de satisfactores para una necesidad comúnmente implica que existen también otras carencias.

A continuación se presenta una selección de algunas de las organizaciones más sobresalientes por su transversalidad y sus impactos: la Red Iberoamericana para el Desarrollo Sustentable (REDDES), GRUPEDESAC, el FpCVB, la organización Alternativas y Procesos de Participación Social A.C. y el Proyecto Familia Rural Sustentable. Varias de las descripciones provienen de la relatoría y memorias de las conferencias magistrales del 1^{er} y 2^{do} Encuentro Nacional de Ecotecnias.

Red Iberoamericana para el Desarrollo Sustentable (REDDES)

La experiencia de REDDES es una de las más innovadoras en cuanto a difusión de conocimiento ecotecnológico en comunidades indígenas marginadas; es destacable que en sus proyectos la participación comunitaria y el diálogo de saberes están presentes desde el inicio hasta la apropiación de las tecnologías. REDDES ha sido el resultado de varias décadas de investigación multidisciplinaria en torno a un modelo alternativo de desarrollo, incluyendo experiencias de difusión de ecotecnias en comunidades indígenas. Desde su fundación en 2005 ha estado involucrada en proyectos educativos de acceso e intercambio libre de conocimientos, preservación de la cultura, uso sustentable de los recursos naturales y profesionalización de actores sociales (REDDES, SF).

Uno de sus esfuerzos más sobresalientes ha sido la creación de la Red de Módulos de Ecotecnologías (RMET), en la que se difunden tecnologías y conocimientos tradicionales para la satisfacción de necesidades básicas (**Fig. 2.66**). La RMET integra proyec-



Fig. 2.66 Participantes del curso de RMET.

Fotografía cortesía de REDDES.

tos de desarrollo, difusión y prueba de ecotecnias con proyectos de producción y difusión de material educativo e informativo sobre las mismas (Careaga, 2012) y los conecta a una red que permite el intercambio libre de información en América Latina. Otro de sus esfuerzos ha sido el impulso a un programa de Autosuficiencia Alimentaria en comunidades vulnerables de Veracruz (La Alameda, Ixhuacán de los Reyes, La Alameda Chica, Ayahualulco, Piedra Parada y Cosautlán), que busca contribuir a su seguridad alimentaria mediante el fortalecimiento de capacidades locales y la implementación de huertos familiares y estufas eficientes de leña (REDDES, SF).

La RMET forma parte de una red más amplia llamada Red de Talleres de Producción Digital de Contenido Educativo, Cultural y Tecnológico (RTPD), creada en alianza con la Universidad de Veracruz y compuesta por talleres (en los que se ofrecen tecnologías digitales y capacitación para la producción de contenidos educativos y culturales) y por un repositorio de acceso libre al público en general, llamado La Casa de la Enseñanza y el Aprendizaje, en el que se difunde el conocimiento generado en cada taller. En 2011 ya se habían realizado Talleres de Producción Digital (TPD) en Baja California, Chiapas, Ciudad de México, Guerrero, Jalisco, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Yucatán, Oaxaca y Veracruz, en los cuales se produjeron 71 productos educativos (Careaga, 2012).

Grupo para Promover la Educación y el Desarrollo Sustentable A.C. (GRUPEDSAC)

GRUPEDSAC es una organización vinculada a los principios éticos de la permacultura y cuenta con un centro demostrativo que capacita a alrededor de 12,000 personas al año en la instalación de ecotecnias para comunidades rurales marginadas (Barney, 2013) (Fig. 2.67). Desde 1987 impulsa proyectos enfocados a la educación y la justicia ambiental que promueven el desarrollo local y la generación de actividades productivas (*ibid*). (Fig. 2.68). El modelo de operación de GRUPEDSAC se basa en la premisa de que para que una comunidad alcance un desarrollo integral, aspectos como los procesos locales participativos y de desarrollo comunitario, las capacidades y recursos locales, las relaciones entre empresas, comunidades y gobiernos, los problemas comunales y regionales y la calidad de vida deben ser tomados en cuenta, y las herramientas tecnológicas, además de satisfacer necesidades humanas básicas, deberían permitir a la comunidad tener control sobre los procesos de desarrollo



Fig. 2.68 Recorrido didáctico en los centros demostrativos de GRUPEDSAC.

Fotografía cortesía de GRUPEDSAC.

y generar estrategias que mejoren sus capacidades de gestión, condición económica y que sean amigables con el medio ambiente (GRUPEDSAC, 2010).

A continuación se describen brevemente las iniciativas y proyectos más destacables de GRUPEDSAC:



Fig. 2.67 Trabajo en el tejido de la malla para una cisterna de ferrocemento.

Fotografía cortesía de GRUPEDSAC.

la instalación del Centro de Educación para el Desarrollo Rural (CEDER) en Huixquilucan, Edo. De México, y del ITT en Ejutla, Oaxaca, los cuales fundaron la red de CAIS y realizan investigación aplicada en tecnologías apropiadas, capacitación y disseminación de soluciones para el campo, la pobreza y el deterioro ambiental, así como tienen en demostración a más de 32 ecotecnias para la autosuficiencia en agua, alimentos, vivienda y energía (véase **Tabla 2.14**) (Barney, 2013); la ejecución de tres programas permanentes de desarrollo comunitario sustentable en Ejutla de

un proyecto para jóvenes de Huixquilucan en el que se les capacita para ser promotores del desarrollo sustentable; un programa de educación ambiental para adultos que incluye talleres de manejo de pequeños negocios y comercialización; y finalmente la asesoría y acompañamiento que brindan a empresas locales socio-ecológicamente responsables para que generen impacto en las comunidades con las que trabajan, esto ha incluido el desarrollo de un sistema de voluntariado y turismo (“volunturismo”) y de ecoturismo rural (Ver **Tabla 2.15**).

NECESIDAD	ECOTECNOLOGÍAS
Agua	Manejo integrado del agua, cisternas de ferrocemento, SES, SCALL; curvas de nivel, zanjas de infiltración y presas keyline
Alimentación	Agricultura orgánica, cultivos biointensivos, cultivo permacultural, organoponía, lombricomposta, herbolaria, procesamiento de alimentos e industrialización ecológica de alimentos
Vivienda	Diseño ecológico, asentamientos humanos sustentables, permacultura, tierra compactada, paja, cob, bajareque, bambú, costales de arena, construcción reutilizando materiales
Energía	CSA, biodigestor, deshidratador solar, bicicleta generadora de energía eléctrica, aerogenerador híbrido solar y eólico, cocina solar, estufas Lorena y <i>Patsari</i> y ahumador de carnes

Tabla 2.14 Ecotecnologías demostradas en los centros de capacitación de GRUPEDSAC, con respecto a cuatro de los cinco ejes para la satisfacción de necesidades humanas básicas.

Fuente: Barney (2013).

Crespo, San Felipe del Progreso y Huixquilucan (Oaxaca, Estado de México y Estado de México, respectivamente), los cuales buscan que las comunidades asuman el control de los recursos sociales, económicos, políticos, culturales y naturales de su territorio a través de capacitaciones para la instalación y el manejo de tecnologías apropiadas y la impartición de talleres de desarrollo humano, equidad de género, habilidades organizativas y de autogestión (Granados, SF y Barney, 2013); un programa de educación ambiental para niños de zonas rurales que incluye actividades como lectura, música, canto, títeres y cine;

FASES	DESCRIPCIÓN
Evaluación	<ol style="list-style-type: none"> 1) Se identifican necesidades y problemáticas en el grupo de interés; se determinan los recursos necesarios para desarrollar el programa. 2) Se realiza un perfil de la comunidad con información demográfica, socioeconómica, sociopolítica, económica, histórica, de derechos humanos, entorno natural e instituciones.
Planeación	<ol style="list-style-type: none"> 1) Se diseña un programa que sea consensual y sostenible. 2) Se evalúa el impacto social y las oportunidades.
Relaciones	<ol style="list-style-type: none"> 1) Se analiza la solidez y diversidad de las instituciones de la comunidad. 2) Con herramientas de planeación y diagnóstico participativo, los participantes elijen las acciones que se llevarán a cabo (los planes siempre están sujetos a modificaciones a medida que éstos requieran adaptarse a las circunstancias y prioridades de la comunidad).
Supervisión y evaluación	<ol style="list-style-type: none"> 1) Se evalúa el avance del proyecto y la consecución de sus metas. 2) Se definen objetivos, metas e indicadores para evaluar la situación antes y después de la implementación del programa. 3) Se calendarizan las actividades y los resultados esperados. 4) Los participantes evalúan el programa y se hacen las modificaciones que se requieran de forma participativa.

Tabla 2.15 Fases del programa de acompañamiento a empresas socio-ecológicamente responsables de GRUPEDSAC.

Fuente: GRUPEDSAC (2010).

Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo (FpCVB)

El FpCVB es una organización privada sin fines de lucro que promueve la restauración y conservación ecológica de la cuenca Amanalco-Valle de Bravo. Sus líneas de acción incluyen el monitoreo de los cuerpos de agua, la organización comunitaria, un programa de implementación de un paquete ecotecnológico con sistemas integrales de captación de agua de lluvia, estufas de leña mejoradas, sanitarios secos y hortalizas de traspatio (véase **Tabla 2.16**), programas de reforestación, invernaderos forestales, proyectos de educación ambiental y recuperación de parcelas de uso productivo y voluntariado (algunos de éstos en colaboración con instituciones como la CONANP y la CONAGUA) (FpCVB, SF; Bonfil, 2012 & Gómez 2013; Yniesta *com pers*, 2013). El manejo del agua ha sido uno de los temas prioritarios para el FpCVB (**Fig. 2.69**), no solo porque la cuenca aporta servicios ecosistémicos al sistema Cutzamala, que abastece de agua potable a la Ciudad de México, también porque las mujeres que habitan la región invierten hasta el 40% de su tiempo en conseguir agua para su familia (Gómez-Urquiza, 2013).



Fig. 2.69 Pileta para agua y bomba de mecate implementa por FpCVB.

Fotografía cortesía de Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo.

Tecnología	Número de dispositivos implementados
SES	2,337
Estufas de leña mejoradas	2,378
SCALL	1,729
Piletas	1,295
Huertos familiares	1,346
Biodigestores	23

Tabla 2.16 Resultados del programa de implementación de ecotecnias del FpCVB.

Fuente: Yniesta *com pers* (2013).

El proyecto de implementación de ecotecnias del FpCVB (que ya ha beneficiado a 3,313 familias de comunidades cercanas a Valle de Bravo (Yniesta *com pers*, 2013) ha seguido una metodología de “aprender haciendo” (**Fig. 2.70**) para garantizar su adopción: la comunidad que desee participar debe organizarse y solicitarlo, entonces el Fondo le brinda capacita-

ción para la implementación de las tecnologías que la misma comunidad decida que son más necesarias, los materiales generalmente son provistos por las propias comunidades y las técnicas de construcción se adaptan a las condiciones de cada localidad. El proceso de acompañamiento consiste inicialmente en visitas semanales durante 4 a 9 meses y visitas anuales después (*ibid*). De acuerdo con Gómez-Urquiza (2013), la participación comunitaria ha sido fundamental para el trabajo del FpCVB, pues ha permitido aprovechar el gran acervo de conocimientos locales. Incluso se han realizado modificaciones a las tecnologías en respuesta a las sugerencias de los usuarios. La implementación participativa de SCALL, por ejemplo, ha generado procesos de cambio no solo en cuanto al uso racional del recurso, sino también en la equidad de género y el desarrollo de habilidades autogestivas.



Fig. 2.70 Construcción de un sanitario ecológico seco.

Fotografía cortesía Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo.

Alternativas y Procesos de Participación Social

Alternativas y Procesos de Participación Social es una organización civil responsable de 2,521 proyectos en Puebla, Oaxaca y Veracruz, para el desarrollo regional sostenible y la seguridad hídrica, alimentaria, económica y ecológica de comunidades rurales de la región mixteca, que han beneficiado a 236,018 usuarios entre 1988 y 2011 (Herrerías y Hernández, 2012; Alternativas, SF). La organización trabaja con un enfoque educativo participativo que integra saberes tradicionales y tecnologías modernas, y en todos los proyectos, la comunidad beneficiada se encarga de construir y operar los sistemas (Hernández y Herrerías, 2004).

Uno de los esfuerzos más relevantes de Alternativas ha sido el programa Agua para Siempre, cuyo objetivo es disminuir la erosión del suelo, aumentar la recarga de acuíferos y optimizar el uso del agua en la región a través del desarrollo e implementación de tecnologías apropiadas. Las actividades que se realizan son específicas para cada zona, comenzando por las partes altas de la cuenca, e incluyen la construcción de zanjas, trincheras, anillos de captación de agua, la reforestación, la construcción de bordos, terrazas a nivel (**Fig. 2.71**), y jagüeyes³¹, la difusión de biodigestores para el tratamiento de las aguas residuales, y la impartición de talleres a campesinos, técnicos y promotores (Hernández y Herrerías, 2004).



Fig. 2.71 Terrazas para contención de suelo y agua.

Fotografía cortesía de Fredy Altamirano.

³¹ Los jagüeyes artificiales, también llamados ollas de agua, cajas de agua, aljibes, trampas de agua y bordos de agua, son depresiones del suelo en las que se acumula el agua de los escurrimientos superficiales y la lluvia. Sus usos incluyen el abastecimiento de agua para el ganado y la microirrigación (SAGARPA, SF).



Fig. 2.72 Museo del Agua en Tehuacán, Puebla.

Fotografía cortesía de Vanessa Salazar.

Alternativas también formó parte del surgimiento de la empresa cooperativa Quali, dedicada a la comercialización de amaranto orgánico producido por los campesinos de la región. El Grupo Cooperativo Quali es una empresa social sostenible que opera una cadena productiva conformada por el elemento agrícola, el industrial y el comercial, empezando en la base familiar, donde se generan empleos formales. Cada familia se responsabiliza de la producción de los granos orgánicos en su parcela y, por su parte, la cooperativa brinda asesoría técnica y de gestión empresarial, insumos, maquinaria, permite comercializar la cosecha a precios justos, experimenta con bancos de germoplasma para seleccionar la variedad más apta para cada región, elabora sustratos enriquecidos y capacita en el riego subterráneo para la optimización en el uso del agua.

Finalmente, el proyecto educativo más importante de esta organización ha sido la creación del Museo del Agua (**Fig. 2.72**) en Tehuacán, Puebla. El Museo busca que sus asistentes revaloren la cultura hidro-agroecológica de las civilizaciones mesoamericanas, recuperando el agua y el amaranto como elementos fundamentales. Recibe visitas de escuelas e imparte talleres sobre agua, deforestación, restauración ecológica, biodiversidad alimentaria, terrazas prehispánicas, invernaderos de amaranto, lombricomposta y bombas de energía limpia (Alternativas, SF).

Proyecto Familia Rural Sustentable

El Proyecto Familia Rural Sustentable opera desde 2007 en la comunidad de Chitejé de Garabato, Amealco de Bongil, Querétaro, con apoyo del FMCN, Si Cambio Mejoramos (SCM), Agencia de Desarrollo Sierra Gorda A.C. (ADSG), entre otras organizaciones sociales e instituciones gubernamentales. El objetivo del proyecto es impulsar el uso de ecotecnias en las viviendas de zonas marginadas a través de intercambios

en los que la organización provee el material y los usuarios la mano de obra. Las ecotecnias, instaladas en 400 casas de diferentes localidades (70 de Chitejé) (**Fig. 2.73**), incluyen techos de ferrocemento, cisternas, captadores de agua pluvial, biofiltros, baños secos, ollas y calentadores solares, y estufas ahorradoras de leña. Los usuarios recibieron también capacitación sobre huertos familiares, invernaderos y lombricomposta.



Fig. 2.73 Ejemplos de ecotecnias implementadas por Proyecto Familia Rural Sustentable. (Biofiltro, baño seco, estufa eficiente de leña, huerto de traspatio).

Fotografías cortesía de Alfredo Fuentes, Gabriela Arroyo.

SECCIÓN 3: CONCLUSIONES

PRINCIPALES LECCIONES DE LAS EXPERIENCIAS ECOTECNOLÓGICAS REVISADAS

Esta primera revisión sobre el estado actual de las ecotecnologías en México ha permitido delinear una serie de lecciones importantes sobre el tema. Como la investigación no incluyó a todos los proyectos y experiencias ecotecnológicas en el país, estas lecciones y las subsecuentes recomendaciones deberán desarrollarse más ampliamente en trabajos futuros.

Una de las primeras conclusiones que surge a partir de esta revisión es que el universo de experiencias ecotecnológicas en el país es muy rico. Ciertamente, todavía no se ha dado respuesta a las grandes carencias que tiene la población rural en cuanto a satisfacción de necesidades básicas, pero ya existen esfuerzos dirigidos hacia la construcción de un México rural sustentable. Varias de las iniciativas del país cuentan con proyección y reconocimiento internacional y, a diferencia de otro tipo de proyectos, están sustentadas en varios años de trabajo de base con la población local, en los que se han aplicado y desarrollado conocimientos técnicos sobre innovación, apropiación y adaptación tecnológica, reconocimiento de los saberes locales y las dinámicas participativas, estrategias efectivas de comunicación, una alta capacidad de gestión y, en las experiencias más recientes, estrategias de emprendimiento social. Complementariamente, la investigación también ha permitido documentar una serie de factores asociados al fracaso de los proyectos ecotecnológicos, entre ellos la incorrecta identificación de las necesidades de los usuarios (es decir, el enfoque “no sé cuál es su problema pero yo tengo la solución”); utilizar diseños tecnológicos no validados o importados directamente de otros contextos (un problema común en sanitarios secos y estufas de leña), que después puede resultar en una durabilidad y/o funcionamiento inadecuados de la tecnología; una visión ingenua que presupone que cualquier persona puede construir y operar las ecotecnologías, cuando éste no es siempre el caso (como ha ocurrido con la obtención de biogás de un biodigestor o con la instalación de un aerogenerador casero, por poner

solo dos casos); un acompañamiento pobre o nulo posterior a la instalación de la ecotecnología, etcétera.

La experiencia con cada una de las tecnologías aquí presentadas ha sido muy diferente: el grado de desarrollo, validación, monitoreo y difusión de las ecotecnias correspondientes a cada necesidad básica es contrastante, como también los actores involucrados, la disponibilidad de información, la distribución geográfica y la escala de aplicación. Entre los actores involucrados en ecotecnologías se cuentan instituciones académicas privadas y públicas, ONG's y de la sociedad civil, emprendedores sociales, instituciones gubernamentales de los tres órdenes de gobierno y consultores independientes.

A pesar de esta diversidad de actores, experiencias y tecnologías, asuntos como el escalamiento de las acciones, el financiamiento, la adopción de los dispositivos y las certificaciones han sido problemáticas comunes a casi todos los procesos de innovación y diseminación de ecotecnias. La mayoría de las iniciativas se han llevado a cabo de forma aislada y, en general, los vínculos de comunicación y colaboración entre actores han sido escasos, con la notable excepción de grupos de gran relevancia y trayectoria colectiva; sobre todo en temas de agua y energía, como la ANES y la red de expertos de la Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA). Entre las experiencias descritas también se encuentran esfuerzos interdisciplinarios e intersectoriales de desarrollo y formulación de programas, normas y estrategias para ecotecnias, como los calentadores solares y lámparas eficientes, entre otras.

Como primer esfuerzo de síntesis y con la finalidad de tener una visión comparativa cualitativa, la **Fig. 3.1** muestra una calificación de cada tecnología estudiada respecto a seis criterios: replicabilidad local, facilidad de operación y mantenimiento, costo, relevancia de aspectos culturales, madurez tecnológica y existencia de programas de apoyo o incentivos. A cada criterio se le asignó una valoración -necesariamente subjetiva-, que pretende representar el estado general de las experiencias asociadas a dicha ecotecnia (aunque puede haber experiencias individuales que

COMPARACIÓN GENERAL DE LAS ECOTECNIAS DESCRITAS CON RESPECTO A SUS CARACTERÍSTICAS.

Ecotecnia	Replicabilidad local	Facilidad de operación y mantenimiento	Accesibilidad económica	Aceptación cultural	Madurez tecnológica	Programas de apoyo e incentivos
ENERGÍA						
Estufas de leña mejoradas	Alta	Media-alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Cocinas Solares	Alta	Alta	Media-alta	Media-baja	Alta	Media-baja
Deshidratadores solares	Alta	Alta	Alta	Media-alta	Baja	Baja
Aerogeneradores	Media-baja	Media-alta	Media-baja	Media-alta	Media	Baja
Paneles fotovoltaicos	Baja	Media-alta	Baja	Media-alta	Alta	Alta
Plantas hidroeléctricas a pequeña escala	Baja	Media-alta	Baja	Alta	Alta	Baja
Lámparas eficientes	Baja	Alta	Media-alta	Alta	Alta	Alta
Calentadores Solares de Agua	Media-baja	Alta	Alta	Media-alta	Alta	Alta
AGUA						
Sistemas de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia	Alta	Alta	Media-alta	Alta	Baja	Media-alta
Purificación de agua	Baja	Media-baja	Media-baja	Baja	Alta	Media-baja
MANEJO DE RESIDUOS						
Biofiltros	Alta	Media-baja	Alta	Media-baja	Baja	Baja
Humedales Artificiales	Media-alta	Alta	Media-alta	Media-baja	Alta	Baja
Sistemas sépticos	Alta	Media-alta	Media-baja	Media-baja	Alta	Alta
Sanitarios Ecológicos Secos	Alta	Media-baja	Media-baja	Media-baja	Media-baja	Media-alta
Mingitorios secos	Baja	Alta	Media-alta	Baja	Media-baja	Media-baja
Biodigestores	Baja	Media-baja	Media-alta	Baja	Media-baja	Media-alta
ALIMENTACIÓN						
Huertos Familiares	Alta	Media-alta	Alta	Alta	Alta	Media-alta
Control Biológico	Media-alta	Media-alta	Media-alta	Media-alta	Alta	Baja
Biofertilizantes	Alta	Media-alta	Media-alta	Media-baja	Alta	Baja
VIVIENDA						
Principios de Diseño	Alta	Alta	Alta	Media-baja	Media-alta	Media-baja
Materiales de Construcción	Alta	Alta	Media-alta	Alta	Baja	Baja

Fig. 3.1 Comparación general de las ecotecnias descritas respecto a sus características.

Nota: Replicabilidad local se refiere a la facilidad con que el dispositivo puede construirse en las comunidades en las que se implementa. Facilidad de operación y mantenimiento se refiere al nivel de conocimiento técnico que se requiere para operar y mantener la tecnología, incluyendo también el acceso a partes de repuesto. Accesibilidad económica se refiere a la facilidad de acceso a la tecnología, tomando como referencia las alternativas convencionales (si aplica). Aceptación cultural considera las modificaciones a las prácticas tradicionales (si las hay) que puede acarrear la nueva tecnología (por ejemplo, el cambio en la forma de cocinar que puede implicar una estufa eficiente de leña o una cocina solar con respecto a un fogón tradicional). La madurez tecnológica evalúa la existencia de modelos validados y favorece aquellos que cuenten con normas/certificación de funcionamiento. Se consideran programas de apoyo los programas gubernamentales y cualquier incentivo para la difusión de la tecnología.

Fuente: Elaboración Propia.

diverjan del rótulo sugerido). Pretendemos que esta descripción del estado general de la ecotecnología sirva para indicar la línea de acción más adecuada para proyectos futuros. Por ejemplo, para las tecnologías cuya replicabilidad local es baja conviene generar cadenas de suministro de partes y de mantenimiento con alcance nacional. Aquellas asociadas a aspectos culturales importantes (como las ecotecnologías para la cocción de alimentos) o cuya operación y/o mantenimiento no es tan sencillo, deben acompañarse con una capacitación adecuada de sus usuarios e incluir estrategias de sensibilización sobre los problemas de las tecnologías tradicionales. En los casos donde no existe una madurez tecnológica suficiente conviene fortalecer los esfuerzos de innovación y desarrollo tecnológicos. Cuando no se tienen programas de apoyo y/o incentivos gubernamentales es necesario trabajar en estrategias de financiamiento y mecanismos para favorecer el escalamiento a nivel nacional de la tecnología, etcétera.

A continuación se presentan las principales lecciones aprendidas de cada uno de los criterios que sirvieron de base a la investigación: desarrollo, validación, difusión y monitoreo.

DESARROLLO DE LA ECOTECNOLOGÍA

Como se hizo notar en la introducción del capítulo, en México el grado de desarrollo de cada tipo de ecotecnología varía sustancialmente. Entre aquellas consideradas en este trabajo, hay las que cuentan con desarrolladores consumados y con experiencia de varias décadas; por ejemplo, las primeras investigaciones sobre producción de paneles fotovoltaicos en el país datan de los años 70 (Morales, 1996); la ANES, importante promotor de ecotecnias del eje de energía, fue fundada en los años 80 (ANES, SF), década en que el CITA comenzaba su producción de SES (Añorve *et al.*, 2000). Hay bastante experiencia acumulada para algunas tecnologías —como las estufas de leña— y de igual forma están surgiendo nuevas iniciativas para otras que no habían tenido tanto desarrollo anteriormente, como los biodigestores.

La innovación en ecotecnologías se verifica de muy diferentes maneras, desde modelos convencionales en los que participan grandes industrias (como la asociada a las lámparas eficientes) hasta iniciativas de desarrollo tecnológico basadas en procesos participativos y donde el énfasis es adecuar las tecnologías a

las condiciones ambientales y culturales de los usuarios en zonas geográficas restringidas, como las estufas *Tiumben K'óoben*. De hecho, una nueva generación de organizaciones está impulsando sus innovaciones a través de esquemas de emprendimiento social, como Sistema Biobolsa, Isla Urbana e Iluméxico.

A pesar de lo anterior, el trabajo de la mayor parte de las organizaciones que aquí se muestran no consiste en desarrollar nuevos modelos, sino en adaptar los ya existentes a condiciones locales específicas. Las adaptaciones que pueden hacerse a una tecnología están determinadas en gran parte por el tipo de tecnología en cuestión. Por ejemplo, para tecnologías como los huertos familiares, la construcción de viviendas o los sanitarios ecológicos, existe una gran área de oportunidad para la adaptación local mediante la recuperación de saberes tradicionales y el uso de materiales locales, mientras que en casos como las celdas fotovoltaicas —que no pueden ser producidas localmente hasta el momento— las adaptaciones a los sistemas están mucho más restringidas. En estos casos se trata sobre todo de lograr ensamblar los módulos en el país, así como de crear cadenas de suministro y capacidades para la operación y el mantenimiento de los equipos a nivel local.

Una creencia que suele tenerse en los círculos académicos es que el desarrollo de ecotecnologías no requiere bases científicas importantes. La experiencia muestra que no es así: en el caso del desarrollo de la estufa de leña *Patsari*, de los bioplaguicidas, de los aerogeneradores a pequeña escala, y otras, la investigación aplicada de universidades y centros de investigación fue decisiva. El IMTA ha tenido un papel muy importante en el desarrollo de alternativas para la captación, tratamiento y uso eficiente del agua, por ejemplo, con el desarrollo de humedales artificiales y otras ecotecnias. Aun así, los esfuerzos científico-tecnológicos dirigidos a las ecotecnologías han sido muy limitados en comparación al desarrollo y financiamiento que han recibido las tecnologías convencionales. Como resultado, muchas de las ecotecnias en el mercado, como las lámparas eficientes o los paneles fotovoltaicos, en las que México hubiera podido desarrollar una industria local de haber seguido otra política de apoyo en ciencia y tecnología, son ahora importadas; y otras como los CSA se ensamblan en México utilizando componentes importados. Consideramos que la experiencia ecotecnológica se vería enriquecida de tener mayor apoyo de las instituciones de ingeniería y tecnolo-

gía del país, y que la vinculación entre academia y sociedad debería también tomar en cuenta las prioridades y necesidades de las poblaciones rurales, los pequeños productores y de los habitantes de escasos recursos, así como sus contextos socio-ecológicos particulares.

VALIDACIÓN DE LA ECOTECNOLOGÍA

Una de las principales razones del fracaso de muchos proyectos o de la baja adopción de las ecotecnias ha sido utilizar tecnologías no validadas para las condiciones específicas del medio rural mexicano. Es crucial por esta razón que exista una validación de las ecotecnias desarrolladas antes de intentar su difusión masiva. En general, los dos tipos de validación que una tecnología puede recibir son formal (como la certificación o las normas y estándares) e informal (como la certificación social o participativa). Actualmente el apoyo gubernamental está centrado en el primer tipo de validación. Específicamente en el caso de las ecotecnias energéticas, para el desarrollo de las normas, voluntarias u obligatorias, ha sido clave la participación de actores como la CONUEE y la ANES.

Las ecotecnias con mayores regulaciones formales son las que están dirigidas al mercado urbano, como las lámparas eficientes o los CSA, o hacia aplicaciones de gran escala como los aerogeneradores. Las tecnologías sin presencia en el mercado raramente están reguladas e incluso muchas de ellas carecen de definición precisa, como en el caso de los SES o los biofiltros. También es notable que los programas gubernamentales de difusión masiva de tecnologías que generaron un marco regulatorio han tenido sensiblemente mayor impacto que aquellos que no lo hicieron: confróntese, por ejemplo, el caso del programa Luz Sustentable con el Programa Nacional de Estufas Ahorradoras de Leña (véase sección 2).

Por el contrario, la certificación social, que creemos puede tener un gran potencial en el contexto rural de México, ha sido mucho menos recurrida. Un ejemplo de este mecanismo es el de la certificación de las estufas *Patsari* que, al no recibir apoyo de instancias gubernamentales, ha tenido un impacto limitado.

DIFUSIÓN DE LA ECOTECNOLOGÍA

Un punto que resalta de nuestra revisión es que muy pocas de las ecotecnias aquí analizadas se han difundido masivamente en las áreas rurales del país (es decir, muy pocas se pueden encontrar en prácticamente cualquier comunidad de México) y ninguna es todavía la opción predominante para resolver las necesidades básicas de los pobladores rurales. Los niveles de difusión de las ecotecnias documentadas difieren de acuerdo al tipo de tecnología (industrial o de manufactura local), el beneficiario (rural o urbano), el origen del financiamiento (gubernamental o de fundaciones privadas), el medio de difusión (mercado o procesos autogestivos) o las organizaciones que promueven la tecnología (organizaciones locales o nacionales e internacionales). Existen tecnologías que se difunden principalmente a través del mercado (como las lámparas eficientes) y otras que pueden ser autogestivas (como los SCALL o los SES). Incluso una misma tecnología con diferentes variantes puede estar asociada a distintos modelos de disseminación. Por ejemplo, los mingitorios secos se difunden vía el mercado en el sector comercial y vía OSC cuando son parte de estrategias integrales de saneamiento ecológico.

Los procesos de difusión de ecotecnias que han tenido mayor éxito en las áreas rurales están asociados a procesos participativos. De estos últimos existen algunas iniciativas de difusión muy innovadoras como la experiencia de los talleres independientes de construcción de SES del CITA, la difusión de aerogeneradores domésticos mediante talleres participativos de GRUPEDSAC y el modelo de operación de Iluméxico para implementar iluminación y acceso a comunicación en localidades marginadas.

Las iniciativas de difusión de ecotecnias que parten de las OSC tienen en general un alcance local o regional y un ritmo de crecimiento relativamente lento en comparación con las alternativas más comerciales. Sin embargo, a diferencia de muchos proyectos a gran escala que han demostrado ser incapaces de generar impactos reales en la cotidianidad de los usuarios, se ha visto que las estrategias autogestivas de varias de las iniciativas locales son mucho más efectivas. Por ejemplo, el trabajo de organizaciones como Alternativas y Procesos de Participación Social, REDDES y FpCVB o el proyecto *Ha ta tukari* de Isla Urbana, ha hecho explícito que involucrar a la comunidad desde las etapas iniciales de los proyectos

confiere a estos últimos muchas más posibilidades de resultar exitosos.¹

Otro factor que hace una gran diferencia en la escala y rapidez del proceso de difusión de las ecotecnologías es la existencia de un programa gubernamental federal de apoyo. Al tener metas amplias (por ejemplo, difundir 600,000 estufas eficientes de leña en el caso del Programa Nacional de Estufas Ahorradoras de Leña) estas iniciativas han sido claves para establecer y/o fortalecer un mercado inicial de ecotecnologías. Casos relevantes de esto son el Procalsol, con los CSA, el PLS, con lámparas eficientes, o el Programa de Hipoteca Verde del Infonavit. Varias de estas iniciativas han estado acompañadas de esfuerzos complementarios de regulación, promoción e investigación, y de colaboraciones público-privadas que involucraron a los principales actores de diferentes tecnologías en la elaboración y seguimiento de los programas, como GIZ y ANES, que han colaborado estrechamente en la formulación de programas nacionales para la promoción de ecotecnias energéticas.

MONITOREO DE LA ECOTECNOLOGÍA

El seguimiento y monitoreo del uso de las ecotecnologías y de sus impactos asociados es una actividad absolutamente clave para determinar el éxito o fracaso de los proyectos. La experiencia demuestra que no basta con que una tecnología se haya desarrollado, validado, difundido e instalado en los hogares de forma adecuada: sin importar de qué tecnología se trate, si esta no es adoptada y usada de manera sostenida, no habrá impactos positivos ni en la calidad de vida del usuario ni en el ambiente. Es decir, que si un programa de implementación de tecnologías no puede garantizar a largo plazo que estas se usen adecuadamente, todo el trabajo y dinero invertidos en diseñar y difundir las tecnologías habrá sido en vano.

¹ Para facilitar el proceso de difusión tecnológica se ha documentado que es importante identificar entre los usuarios potenciales a “adoptadores tempranos”, cuya primera experiencia sirva para promover la tecnología en el resto de la comunidad en lo que se conoce como “efecto cascada” (Rogers, 1995). La efectividad de esta estrategia ha sido descrita para estufas de leña mejoradas, biodigestores y sanitarios ecológicos secos por Masera *et al.* (2005), Eaton (2012) y Sawyer (SF), respectivamente.

Paradójicamente, en la mayoría de las iniciativas documentadas, particularmente en aquellas ligadas a programas gubernamentales, el compromiso termina al entregar los dispositivos a los usuarios, por lo que no se tienen datos sobre el impacto derivado de su uso a largo plazo. De hecho, la cuantificación del impacto de los proyectos generalmente se reduce al número de dispositivos instalados, resultando, por supuesto, que todos los dispositivos serán adoptados y utilizados de manera adecuada.

La experiencia de muchos proyectos en México y a nivel internacional demuestra que de no asegurarse que la tecnología difundida cumple efectivamente con las expectativas de los usuarios, y que estos cuentan con un adecuado entendimiento de los principios de operación y mantenimiento del dispositivo y con los recursos económicos o materiales para su uso continuo, la ecotecnia en cuestión no será adoptada. Por ejemplo, en el caso de las estufas *Patsari* se ha documentado que los usuarios requieren algunos meses para familiarizarse totalmente con el funcionamiento de las estufas y que el acompañamiento en este periodo es clave para la adopción de las estufas (Pine *et al.*, 2011). Asimismo, cuando después de un determinado tiempo un dispositivo implementado llega a presentar alguna falla, se desgasta y/o deja de funcionar, si el usuario no comprende el funcionamiento de la tecnología o a quién tiene que dirigirse para arreglar el problema, generalmente el dispositivo termina por abandonarse o usarse en condiciones en las que no produce ninguno de los beneficios esperados (por ejemplo, la reconversión de las estufas eficientes en fogones). Este fenómeno ha sido documentado por Vignau (2009) en comunidades rurales del Corredor Biológico Mesoamericano (CBMM) y un ejemplo claro de ello son los miles de sistemas fotovoltaicos difundidos por PRONASOL en los 90, que al poco tiempo se abandonaron por presentar fallas técnicas (Cota y Foster, 2005). Algunas experiencias, como las documentadas por Lobo y Vera (2013) con SCALL en la sierra huichol y Burgos (2012) con SES en la cuenca del Bajo Balsas, han demostrado que el impacto comunitario es mayor cuando los usuarios aprenden a instalar y dar mantenimiento a la tecnología. Para organizaciones como el FpCVB, garantizar el uso sostenido de las tecnologías, mediante un seguimiento constante de las familias que instalaron los sistemas, se considera clave para asegurar el impacto social de la inversión requerida para los proyectos.

La documentación de los impactos reales de los proyectos es también clave para entender mejor las razones del fracaso o del éxito de los mismos y poder así implementar medidas correctivas o fortalecer el proceso de implementación en otros lugares, según sea el caso. Lamentablemente, ni los financiadores públicos ni privados apoyan el seguimiento y monitoreo de los proyectos a mediano o largo plazo. Por esta razón, la mayoría de las organizaciones no cuentan con estrategias consistentes de seguimiento y evaluación del uso de las tecnologías. Inclusive organizaciones que han desarrollado herramientas de monitoreo y saben de su utilidad se ven muy limitadas para aplicarlas ya que los financiamientos no incluyen recursos para estas actividades (Rembio, 2011). Entre las experiencias interesantes de monitoreo y evaluación de las tecnologías están GIRA para el caso de estufas eficientes, Sarar-T para sanitarios ecológicos o Isla Urbana para SCALL (véase Sección 2).

OPORTUNIDADES Y RETOS PARA LA ECOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

El modelo de desarrollo actual ha sido incapaz de garantizar la satisfacción de las necesidades humanas básicas de buena parte de la población rural de nuestro país. El proceso de modernización en este sector, especialmente en lo concerniente a brindar satisfactores de necesidades básicas, ha sido en muchos casos una imitación de su contraparte urbana, con lo que se han difundido tecnologías ineficientes, contaminantes y, sobre todo, económicamente inaccesibles para la población más pobre.

En el modelo actual parece no haber lugar para una “ruralidad moderna”. Las comunidades rurales se ven como un símbolo de atraso y pobreza, y la única alternativa de sus habitantes muchas veces es convertirse en mano de obra barata. Se ha vuelto inconcebible que las áreas rurales sean, en lugar de esto, ejemplos vivos de desarrollo sustentable. El campo es cada vez más para los grandes empresarios y no para las comunidades locales. En estas circunstancias, no debería sorprendernos la irrupción del crimen organizado y la consecuente violencia e inseguridad que se generan en lugares cuyos habitantes no han tenido la oportunidad de procurarse una vida mínimamente digna, donde el abandono de la tierra y la migración eran ya las únicas opciones. Para gran parte de los po-

bladores rurales de nuestro país, el proyecto neoliberal impulsado desde finales de los ochenta ha traído poco más que inequidad, inseguridad y daños a la salud y al ambiente inmediato.

En esta compleja encrucijada, las ecotecnologías se proponen como herramientas para la construcción de un modelo alternativo de desarrollo rural, uno que sea capaz de resolver las necesidades locales y al mismo tiempo permita el aprovechamiento sustentable de sus recursos y de la enorme diversidad biocultural de su entorno, que ofrezca a la gente una vida digna y segura. La ecotecnología, integrada con los nuevos paradigmas de gestión participativa basada en el diálogo de saberes y en modelos descentralizados², nos permite expandir los horizontes del desarrollo local hacia imaginarios donde todos tienen cabida, y donde la diversidad de conocimientos locales de los grupos sociales que coexisten en México es baluarte y no obstáculo para el desarrollo.

Podría pensarse que lo dicho arriba apunta a un camino “utópico”, sin embargo, creemos que lo verdaderamente utópico es pretender que las cosas mejoren bajo el mismo paradigma consumista y economicista que las ha llevado a la crítica situación actual. La revisión realizada en este volumen ha mostrado que:

- Las ecotecnologías en México tienen un gran potencial porque las condiciones geográficas del país privilegian el uso de la energías renovables eólica, solar, hidráulica, y de la bioenergía, y el enorme acervo biocultural enriquece las posibilidades de un nuevo paradigma de desarrollo.
- El estado del desarrollo técnico se muestra favorable. Muchas instituciones a lo largo y ancho del país ya realizan investigación relacionada con ecotecnologías o tienen la capacidad para desarrollar-

² Por ejemplo, el modelo de desarrollo rural descentralizado o “convergente” planteado por Perfecto y Vandermeer (2010) (también conocido como el modelo de la “matriz agroecológica”) sugiere, en términos generales, la combinación de áreas productivas—dedicadas a la agricultura o la forestería— con áreas de conservación natural en el medio rural. En este modelo, las poblaciones locales serían parte activa de su creación y manejo integral. Se ha planteado como alternativa al modelo “divergente”, que propone el despoblamiento casi total del sector rural y la división tajante del paisaje en áreas productivas de manejo intensivo y áreas forestales de conservación que se dejan intactas. Para una discusión sobre las consecuencias de los dos modelos en México véase García-Barrios *et al.*, (2009).

las, y su difusión en muchos casos tiene varias décadas de antigüedad; frecuentemente solo hacen falta innovaciones o adaptaciones que permitan adecuarlas a las necesidades locales.

- El emprendimiento social dirigido a la ecotecnología ha experimentado un gran crecimiento y están apareciendo nuevos modelos de negocio, enfocados ya no a generar ganancias a corto plazo, sino a atender problemáticas sociales y ambientales.
- Un buen número de programas gubernamentales promueven las ecotecnias, sobre todo en el eje de la energía, y numerosos actores, muchas veces trabajando en condiciones difíciles y mediante un compromiso de largo plazo con las comunidades locales o regionales, llevan a cabo experiencias exitosas en múltiples regiones del país.
- Diversas organizaciones de la sociedad civil con amplia experiencia en el tema han llevado a cabo proyectos de transformación comunitaria a largo plazo, como el FpCVB o Alternativas. Organizaciones emergentes como el IRRI están innovando para superar las barreras existentes y organizaciones como Ashoka están impulsando de manera muy importante la formación de líderes e iniciativas innovadoras.

Hemos visto, por lo tanto, que en México hay un gran capital humano integrado por personas conscientes, preparadas y motivadas, que a través de la difusión de ecotecnias buscan mejorar las condiciones de vida de la población más vulnerable, y que toda esta experiencia técnica, educativa y cultural, el trabajo invertido y los proyectos en marcha, son un punto de partida esperanzador para iniciar un camino de desarrollo tecnológico distinto. La diversidad de actores y de formas en que han abordado el tema de las ecotecnologías, el gran interés que despertaron los dos Encuentros Nacionales sobre Ecotecnias y la motivación de los participantes para establecer una Red Nacional sobre Ecotecnología son muestras patentes de que hay condiciones para generar colaboraciones de distintos tipos entre organizaciones de la sociedad civil, instituciones gubernamentales, académicas, grupos de financiadores y actores locales, a través de las cuales el tema pueda ser impulsado más amplia y efectivamente.

Para hacer realidad estas oportunidades que ofrece la ecotecnología en el país es esencial superar una serie de grandes retos que se han identificado en esta

investigación y en las discusiones llevadas a cabo en el 1^{er} y 2^{do} Encuentro Nacional de Ecotecnias. Estos retos son:

La validación de las tecnologías

La mayoría de las ecotecnologías que actualmente se difunden en el país no cuentan con regulaciones y/o certificaciones adecuadas, necesarias si se quiere garantizar que el dispositivo cumple con criterios mínimos de calidad y durabilidad. Esto es especialmente cierto para las ecotecnologías autogestivas. Contar con algún tipo de certificación es importante para que las empresas y organizaciones que están haciendo un esfuerzo por generar tecnología de calidad vean su labor recompensada en lugar de enfrentar una competencia desleal. Es crítico, por lo tanto, ampliar los esfuerzos de validación bajo los esquemas de normalización o certificación convencionales y en particular generar modelos innovativos de certificación participativa que permitan asegurar la calidad y replicabilidad de las ecotecnologías de construcción local. Para esto es fundamental contar con información confiable y de fácil acceso sobre las tecnologías y con evaluadores independientes que confirmen el desempeño de los modelos en campo, bajo condiciones reales de uso.

Una mayor integración de las ecotecnologías en las políticas públicas

Aisladamente y con objetivos distintos, un gran número de dependencias gubernamentales han estado involucradas en proyectos de difusión de ecotecnias. Entre ellas SEMARNAT, SEDESOL, SENER, CONAGUA, CONAFOR, CDI e incluso la SCT. Sin embargo, falta todavía mucho trabajo para integrar a las ecotecnologías de manera efectiva en las políticas y programas públicos. Por un lado, es muy importante que los esfuerzos gubernamentales tengan mayor seguimiento y coordinación, así como romper la brecha entre las iniciativas a escala nacional y las iniciativas locales, esto es, se necesita una mayor articulación entre las agencias federales y locales para la implementación de los proyectos. Por otra parte, hay que trabajar para que la gran mayoría de las ecotecnias reciba un reconocimiento oficial como tecnologías que mejoran la calidad de vida de los usuarios, ya que actualmente no están incluidas entre las opciones que cuentan para reducir el nivel de marginación de un municipio o comunidad -por ejemplo, este es el caso de las

viviendas construidas con materiales tradicionales o varias opciones para el tratamiento de agua-, y son así difíciles de incluir en programas gubernamentales. Se debe romper con los intereses económicos creados y la visión convencional que da prioridad a la difusión de opciones como drenaje, plantas de tratamiento de agua, casas de tabique y cemento, techos de lámina o perforaciones de pozos profundos, sobre otras tecnologías mucho más amigables con el ambiente y con los contextos culturales de las diferentes regiones del país. Finalmente, se deben promover aplicaciones ecotecnológicas integrales que podrían tener un gran impacto social y ambiental: por ejemplo, viviendas ecológicas que tengan sistemas de producción y uso de energía, integrados con la captación, uso y tratamiento de agua y/o manejo de residuos. En este mismo sentido, también hacen falta políticas que además de promover la *difusión* de ecotecnologías incluyan acciones e incentivos para la innovación y desarrollo tecnológico, así como la validación y monitoreo de impactos.

Aumentar la escala e impacto de los programas sin perder de vista los contextos locales

Uno de los retos más importantes que enfrentan las ecotecnologías en México es cómo ampliar significativamente su cobertura e impacto para ayudar a resolver las grandes carencias de la población rural, sin perder su habilidad de responder y adaptarse a los diferentes contextos socio-ecológicos. Este es un problema que existe a nivel internacional, como lo constata Smith *et al.*, (2014) en una revisión extensa sobre las ecotecnologías (innovaciones de base social) en diferentes continentes y para el que no existen salidas fáciles. Por un lado, se debe evitar caer en esquemas que simplemente “masifiquen” las ecotecnologías, es decir, en una difusión rápida de equipos estándar manufacturados de forma centralizada, no validados ni adecuados a las necesidades y contextos locales y sin un proceso de sensibilización a la población, puesto que se ha comprobado que iniciativas así estructuradas e implementadas no tienen éxito en el ámbito rural. Por otro lado, tampoco es posible escalar las iniciativas de manera realista siguiendo un esquema basado en proyectos pequeños que vayan pasando lentamente de comunidad en comunidad.

Consideramos que las soluciones a este reto deben involucrar iniciativas innovadoras en las que se incluyan por lo menos los siguientes aspectos: a)

que tengan alcance regional y en las que se trabaje de manera coordinada entre varias organizaciones locales, mediante esquemas de trabajo horizontal, aprendiendo de las experiencias exitosas y fracasos de cada organización; b) que busquen combinar en lo posible esquemas de emprendimiento social y desarrollo de mercados con el desarrollo de capacidades locales; y c) involucren a los usuarios en su gestión, desarrollo y validación. Por ejemplo, se podrían explorar modelos de difusión descentralizados basados en la teoría de redes (es decir, esquemas tipo internet, en donde no existe un único generador de información, sino que hay procesos de autoorganización y múltiples canales de comunicación a través de “nodos”). Siguiendo estos modelos, se buscaría contar con un número amplio de organizaciones que podrían fungir como “nodos de difusión tecnológica” a escala regional, con interacciones entre las organizaciones a diferentes escalas para acelerar la difusión y el impacto de las innovaciones.

Garantizar la adopción y el uso sostenido de las ecotecnologías

Lograr que una tecnología se adapte al contexto cultural y la cotidianidad de los usuarios y se utilice de manera sostenida es otro gran reto. Para hacerle frente hay que considerar varios factores. En primer lugar, se ha visto que si la tecnología no satisface una necesidad real de los usuarios es muy probable que el proyecto fracase o que la tecnología se abandone. Es común que la necesidad que el usuario percibe no coincide con la del promotor del proyecto. Por ejemplo, en el caso de las estufas eficientes, muchas señoras están más interesadas en tener una cocina limpia y digna que en reducir su consumo de leña o incluso que en los daños a la salud que la exposición al humo puede causarles. Una ecotecnia es y debe ser percibida como un medio para la solución de los problemas socio-ecológicos, no como un fin en sí misma. También hemos visto que la adopción de una tecnología se facilita mucho si los usuarios se involucran en su difusión; para esto se deben evitar por lo menos dos errores: el asistencialismo y el imponer procesos a las comunidades. El asistencialismo es típico de la mayoría de los proyectos gubernamentales y da por resultado un muy pobre involucramiento de los usuarios, así como una gran reticencia de estos a participar en otros programas en los que sería

conveniente involucrarse o aportar algún tipo de recursos; el segundo tipo de error se da muy comúnmente entre las OSC cuando, por ejemplo, asumen metas de difundir un cierto número de dispositivos en determinado tiempo ante una entidad financiadora externa, y terminan por imponer a las comunidades ritmos de difusión de las ecotecnologías que no son viables localmente. En lugar de esto, se deben fomentar estrategias de co-responsabilidad con participación activa de los usuarios.

Finalmente, como hemos enfatizado en diferentes ocasiones, los proyectos no pueden quedarse en la instalación de ecotecnias, es fundamental realizar acciones de seguimiento y monitoreo del uso de los dispositivos después de su implementación y desarrollar metodologías, herramientas y estrategias costo-efectivas para cuantificar los impactos de los proyectos. Esta es la única manera de conocer el grado de adopción de las ecotecnias. Desarrollos recientes en esta área, como los SUMS o medidores de uso de las estufas eficientes de leña (Ruiz-Mercado *et al*, 2011), o el utilizar bases de datos sobre instalación y uso de las ecotecnias que se actualizan en tiempo real por medio de celulares, sugieren que en poco tiempo las acciones de monitoreo serán mucho más efectivas y económicas que en la actualidad.

Promover la educación y la capacitación en ecotecnologías

El quinto reto identificado consiste en ampliar el financiamiento en materia de ecotecnologías y brindar incentivos a los usuarios para su adquisición o construcción. Con la excepción de algunos casos como el Programa Nacional de Estufas Ahorradoras de Leña del Gobierno Federal y otros no explícitamente sobre ecotecnias, como el programa de Atención a Zonas Prioritarias de la SEDESOL, los programas gubernamentales de financiamiento de ecotecnologías se han dirigido mayormente al sector urbano. De la financiación privada, también con la excepción de la FGRA, que ha brindado apoyos sustantivos a las ecotecnologías relacionadas con el tema de agua, no ha habido iniciativas importantes de alcance nacional. Son escasos los esquemas de microcréditos o incentivos que permiten a los usuarios acceder a las tecnologías, en especial en el caso de los sistemas más costosos, como SCALL, biodigestores o sanitarios secos. Muy insuficiente es también el financiamiento que en México recibe la investigación y el desarrollo de ecotecnologías, y esto es en parte por la concepción -como ya dijimos,

errónea- de que el desarrollo de ecotecnias no requiere insumos de investigación importantes.

Se debe por estos motivos aumentar el financiamiento que reciben las ecotecnologías en general, y en particular las rurales, y dirigir los fondos de manera integral hacia acciones de desarrollo, validación, difusión y monitoreo. Es importante que los programas de financiamiento tengan continuidad y se aumente su horizonte temporal típico (de uno o dos años) a cinco o más a fin de disparar y mantener verdaderos procesos autogestivos de generación y adopción de las tecnologías.

Promover la educación y la capacitación en ecotecnologías

La formación en ecotecnologías es clave, ya que no existe una conciencia ecológica generalizada en la población y hay un desconocimiento amplio de los tipos de ecotecnias disponibles, así como de sus alcances y beneficios. Asimismo, como Vignau (2009) y Sawyer (SF) han señalado, la implementación de ecotecnias en muchos casos ha entrado en conflicto con las tradiciones de los usuarios y con sus ideas y aspiraciones de acceder a la “modernidad”, de esta forma se imita a las tecnologías y patrones de consumo dominantes en el sector urbano. Para superar este problema consideramos que es necesario, entre otras acciones importantes, desarrollar campañas de educación ambiental y trabajar con los distintos medios de comunicación para mostrar al público que las ecotecnologías no implican un “sacrificio” en las comodidades o en el nivel de vida, sino que, por el contrario, ayudan a una mejor salud y alimentación, brindan ahorros económicos y fortalecen los lazos de solidaridad y cooperación dentro de la comunidad o ciudad.

Se deben también desarrollar currículas específicas sobre ecotecnologías en la educación básica y el bachillerato, al igual que programas de licenciatura y posgrado en el tema. Es importante formar lo que León Olivé (2007) llama “gestores” para el caso específico de las ecotecnologías, es decir, personas que faciliten la mediación y brinden puentes de diálogo entre universidades, organizaciones y usuarios. Se requiere también capacitar una nueva generación de técnicos, profesionistas y emprendedores que repliquen y adapten creativamente los conocimientos y las experiencias exitosas en el gran número de localidades donde aún hay carencias. Para lograr estos objetivos se podrían retomar, por ejemplo, las expe-

riencias de desarrollo de materiales didácticos y estrategias creativas de sensibilización y capacitación que han establecido GRUPESDAC y Sarar-T (en talleres y cursos de capacitación), el FpCVB (en seguimiento), Grupo Balsas (en autogestión comunitaria), la FGRA (en formación y mantenimiento de redes de proyectos) e IslaUrbana-ConcentrArte (en la inclusión de la dimensión artística en los procesos de sensibilización/capacitación).

Se debe ampliar y profundizar la documentación de experiencias y sistematización de información sobre ecotecnologías del país. En particular de las tecnologías que han quedado fuera de este análisis, como las dirigidas a usos productivos, a la movilidad sustentable o las eminentemente urbanas. Finalmente, creemos que es crucial formar una red de colaboración y una plataforma virtual que integre el conocimiento que actualmente se encuentra disperso entre los diferentes actores y facilitar el intercambio de experiencias y capacidades. Solo aprendiendo de todos y entre todos se puede hacer frente a los grandes retos ecológicos y sociales de México.

BIBLIOGRAFÍA

- ADLER, I., CARMONA, G., BOJALLI, J. A. (2008). Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos. PNUMA. International Renewable Resources Institute. México.
- AGENCIA DE NOTICIAS GUERRERO (25 de febrero del 2011). El alcalde Álvaro Burgos continúa con las reuniones para el saneamiento del río de San Juan. Taxco de Alarcón. Recuperado el 2 de febrero del 2014, de <http://angro.com.mx/2011/02/el-alcalde-alvaro-burgos-continua-con-las-reuniones-para-el-saneamiento-del-rio-de-san-juan/>.
- AGUADO-SANTACRUZ, G. A. (2010). Biofertilización de maíz: práctica re- dituable, factible y necesaria para la agricultura de nuestro país. *Claridades Agropecuarias*, (214), 42-47.
- AKÉ, A., ÁVILA, M., JIMÉNEZ-OSORNIO, J. (2002). Valor de los productos directos del agroecosistema solar: el caso de Hocabá, Yucatán, México. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 3(1), 7-18.
- ALATORRE, C. (2009). Energías renovables para el desarrollo sustentable en México. Secretaría de Energía (SENER), Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). D.F.
- ALCÁZAR, J., CATALÁN, W., RAMAN, K. V., CISNEROS, F., TORRES, H., ORTÍZ, O. (1994). Control integrado del gorgojo de los Andes. *Boletín de Capacitación, Centro Internacional de la Papa*, 5.
- ALEJANDRO, N., ALLAN, B., CRISTIANO, G., NOVICK, S., POISOT, F., QUARTUCCI, E., ZECCA, G., SASTRE, M. S. P. (1995). Biofertilizantes. Simulación de impacto económico potencial a nivel regional. Asociación Argentina de Economía Política. En: XXX Reunión Anual Sede: Facultad de Ciencias Económicas Universidad Nacional de Río Cuarto.
- ALEMÁN, T., NAHED, J., LÓPEZ, J. (2003). Sostenibilidad y agricultura campesina: la producción agrosilvopastoril en Los Altos de Chiapas, México. *LEISA Revista de Agroecología: ocho estudios de caso*.
- ALGARA-SILLER, M., CÁRDENAS-MARTÍNEZ, A.I., ARISTA-GONZÁLEZ, G. J. y RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, J.A. (2012). Diseño de bloques de suelo estabilizado para uso urbano en San Luis Potosí. En: Congreso Internacional de Investigación, *Academia Journals*, 4(3), 83-87. Celaya.
- ALSTOM. (2012). Recuperado el 6 de junio del 2014, de <http://www.alstom.com/Global/Group/Resources/Documents/Ressources/The-Alstom-Foundation-For-the-Environment.pdf>.
- AL-TAWEL, H. I., OSMAN, M. B., HAMID, A. A., YUSOFF, W. M. W. (2009). Development of microbial inoculants and the impact of soil application on rice seedlings growth. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(1), 79-82.
- ALTERNATIVAS. Recuperado el 10 de diciembre del 2014, de <http://www.alternativas.org.mx/>.
- ÁLVAREZ, M. del C., OLGUÍN, C. Centro de aprendizajes e intercambio de saberes.
- AMBRIZ, J. J. (2012). Eficiencia energética para el hábitat. En: LACOMBA, R. (2012). *Arquitectura solar y sustentabilidad*, (145-166). México: Trillas.
- AMTMANN, M. (2009). Nichos de mercado para sistemas fotovoltaicos en conexión a la red eléctrica en México. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). México, D.F.
- ANAYA, G. M. (2008). Objetivos y logros del Centro Internacional de Demostración y Captación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI). *Boletín del Archivo Histórico del Agua*, 13, 92-98.
- AÑORVE, C. (2008). El ABC del saneamiento ecológico. Manual para cuidar el agua. Centro de Innovación en Tecnología Alternativa (CITA). Segunda reimpresión. México.
- AÑORVE, C., WINBLAND, U., CLARK, G.A., OLIVER, R., SAWYER R. (2000). Al agua lo que es del agua, al suelo lo que es del suelo (México). Recuperado el 2 de julio del 2014, de <http://habitat.aq.upm.es/bpal/onu00/bp452.html>.
- ARMENTA-BORJÓQUEZ, A.D., GARCÍA-GUTIÉRREZ, C., CAMACHO-BÁEZ, J.R, APODACA-SÁNCHEZ, M.A, MONTOYA, L.B, NAVAPÉREZ, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable. Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.
- ARREDONDO-BERNAL, H.C. Aportaciones del control biológico en México. En: ÁNGEL-SAHAGÚN, C.A. (ed.) XVII Curso Nacional de Control Biológico. Centro Nacional de Referencia de Control Biológico. DGSV-SENASICA.
- ARREDONDO-BERNAL, H. C., HERNÁNDEZ, V. M. (2002). Sinopsis: situación actual del control biológico de plagas en México. En: XIII Memoria del Curso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, 175-186.
- ARRIOLA, J. (1989). La tecnología adaptada: entre la realidad y el deseo. *Realidad: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 8.
- ARRÚA-ORTIZ, T. T., VILLAREAL-MAGAÑA, A. (2006). Sostenibilidad del uso de la energía eólica en México.
- ARSHAD, H. (2014). Comunicación personal. Coordinador de servicio al cliente del Sistema Biobolsa del Instituto de Energía Renovables (IRRI).
- ASIPSA. (2012). Recuperado el 7 de mayo del 2014, de <http://www.asipsa.com/productos/tratamientodeaguas.html>.
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR (ANES). (2000). En: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES LEGISLATIVAS DEL SENADO DE LA REPÚBLICA (IILSEN). (2004). *Nuevas Energías Renovables: Una alternativa eléctrica sustentable para México. Análisis y propuestas*.
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR (ANES). (2012). Comunicación personal. Unidad de coordinación de la ANES.
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR (ANES). Investigadores de la Universidad Indígena presentan trabajos pioneros a nivel nacional.
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR (ANES). Recuperado el 2 de julio del 2014, de http://www.anes.org/anes/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=2.
- AYÚDAME QUE YO TAMBIÉN SOY MEXICANO (ATM). Recuperado el 4 de diciembre del 2014, de <http://www.atm.org.mx/>.
- BARBARÁ, L. (2009). El mercado de la energía eólica en México. Instituto Español de Comercio Exterior, Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Monterrey, Monterrey.
- BARNEY, M. (2013). Estrategias para promover el uso de las ecotecnologías. En: *Memorias del Segundo Encuentro Nacional de Ecotecnias*. Morelia.
- BARRERA, J. F. (2007). Introducción, filosofía y alcance del control biológico. En: RODRÍGUEZ-DEL-BOSQUE, L. A., ARREDONDO-BERNAL, H. C. A. (eds.). (2007). *Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, (1-18). México.
- BARRETT, K. R. (1999). Ecological engineering in water resources: The benefits of collaborating with nature. *Water International, Journal of the International Water Resources Association*, (24), 182-188.
- BASU, S., WEIL, D. N. (1998). Appropriate technology and growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 113(4), 1025-1054.
- BECERRA, H., AGREDANO, J., HUACUZ, J. (2010). Guía de usuario sistemas fotovoltaicos interconectados con la red. Aplicaciones de pequeña escala. Cuernavaca: Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- BELMONT, M. A., CANTELLANO, E., THOMPSON, S., WILLIAMSON, M., SÁNCHEZ, A., METCALFE, C. D. (2004). Treatment of domestic

- wastewater in a pilot-scale natural treatment system in central Mexico. *Ecological Engineering*, 23(4), 299-311.
- BERNARDO, M. de J., FUENTES, E. (2013). Construyendo sistemas agroalimentarios desde la agroecología: Caso RASA-Jalisco. En: *Memorias del Segundo Encuentro Nacional de Ecotecnias*. Morelia.
- BERRONES, R., SALDAÑA, S., PANTOJA, J., GRAJALAES, M., INTERIANO, O., PÉREZ, K., SILVANO, L., SOLIS, A. (2008). Estudio del proceso de deshidratación del queso fresco chiapaneco mediante un secado solar de convección natural.
- BERRUETA, V. (2014). Comunicación personal. Coordinador del Programa de Energía Rural del Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropia-da (GIRA).
- BERRUETA, V., EDWARDS, R., MASERA, O. R. (2008). Energy performance of wood-burning cookstoves in Michoacán, Mexico. *Renewable Energy*, 33(5), 859-870.
- BERRUETA, V., FERNÁNDEZ-ZAYAS, M. L., SOTO-PINTO. (2003) Participación campesina en el diseño y construcción de un secador solar para café. *Agrociencia*, 37(1), 95-106.
- BLANCO, R. (2006). La Equidad y la Inclusión Social: Uno de los desafíos de la educación y la escuela hoy. *Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 4(3), 1-15.
- BLANCO, S., CÁRDENAS, B. MAÍZ, P., BERRUETA, V., MASERA, O., CRUZ, J. (2009). Estudio comparativo de estufas mejoradas para sustentar un programa de intervención masiva en México. Informe final. Instituto Nacional de Ecología (INE), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- BOLETÍN UAM. (2007). Inauguran UAM y UNAM Humedal artificial útil en sistemas agrícolas. Recuperado el 2 de mayo del 2012, de <http://noticias.universia.net.mx/ciencia-nn-tt/noticia/2007/10/22/30258/inauguran-uam-unam-humedal-artificial-util-sistemas-agricolas-olasas-agricolas-alternativa-tecnica.html>.
- BONFIL, H. (2012). Construcción de ecotecnias en la Cuenca Amanalco-Valle de Bravo. En: *Memorias del Primer Encuentro Nacional de Ecotecnias*. Morelia.
- BUELNA, G., GARZÓN-ZUÑIGA, M., MOELLER-CHÁVEZ, G. (2011). Los biofiltros de empaque orgánico: una alternativa simple, robusta y eficiente para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. *Ide@s CON-CYTEG*, 6(71), 540-552.
- BUENFIL, J., GARDUÑO, F. La jardinera que filtra las aguas grises para reciclarlas. Instrumentos educativos para el saneamiento ecológico.
- BULNES, M. (2012). Saneamiento ecológico sostenible y cierre de ciclo de nutrientes. En: *Memorias del Primer Encuentro Nacional de Ecotecnias*. Morelia.
- BURGOS, A. (2012). Diseminación de ecotecnias para el uso eficiente del agua en comunidades rurales. En: *Memorias del Primer Encuentro Nacional de Ecotecnias*. Morelia.
- CABALLERO, J. M. (2005). México Income Generation and Social Protection for the Poor. Volume IV: A Study of Rural Poverty In Mexico.
- CABALLERO-MELLADO, J., ONOFRE-LEMUS, J., WONG-VILLAREAL, A., CASTRO-GÓZALEZ, R., ESTRADA-DE-LOS-SANTOS, P., RODRÍGUEZ-SALAZAR, J., SUÁREZ, R., ITURRIAGA, G., MARTÍNEZ-AGUILAR, L. CENTRO DE CIENCIAS GENÓMICAS-UNAM. (2009). Uso de Azospirillum en México como biofertilizante y potencial de nuevas especies bacterianas como biofertilizantes, agentes de bioremediación y biocontrol de fitopatógenos. En: *Memorias del XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*.
- CARBALLO, S. E., SARMIENTO, M. del C., CANCHÉ, J. A. (1999). *Septic Manual. Pasos para construir tu propia fosa séptica. Septic System Construction Handbook*. Quintana Roo.
- CÁRDENAS, L. (22 de octubre del 2012). Implementará UdG sistema para captar agua pluvial. Guadalajara. Recuperado el 10 de noviembre del 2013, de <http://medios.udg.mx/node/19935/backlinks>.
- CAREAGA, A. (2012). Las tecnologías digitales como ecotecnologías para el desarrollo sustentable comunitario. En: *Memorias del Primer Encuentro Nacional de Ecotecnias*. Morelia.
- CASILLAS, C. E., KAMMMEN, D. M. (2010). The energy-poverty-climate nexus. *Renewable energy*, 300, 200.
- CASILLAS, J. M. (2011). Construcción con pajas de paja en México una alternativa sustentable ante el cambio climático. Tercer Congreso Internacional de Arquitectura y Medio Ambiente. D.F.
- CASSASSUCE, F. (2014). Comunicación personal. Directora de Grupo EOZ.
- CASTILLO, E. (2011). Inequidad en torno al uso de la energía eólica en México. Grupo de Estudios Internacionales Contemporáneos.
- CASTILLO, L. (2002). *Sanitario Ecológico Seco: Manual de diseño, construcción, uso y mantenimiento*. Planta. Guadalajara.
- CERVANTES, G., SOSA-GRANADOS, R., RODRÍGUEZ-HERRERA, G., ROBLES-MARTÍNEZ, F. (2009). Ecología industrial y desarrollo sustentable. *Ingeniería Revista Académica de la FI-UADY*, 13(1), 63-70.
- CISNEROS, E. (2014). Comunicación personal. Coordinador Técnico de Proyectos Especiales del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN).
- COHEN, J. E. (2003). Human population: the next half-century. *Science*, 302 (5648), 1172-1175.
- COMERCIALIZADORA PENINSULAR DE SISTEMAS SANITARIOS ECOLÓGICOS SA de CV (COPENSAE). (2010). Recuperado el 7 de mayo del 2012, de <http://www.copensae.com.mx/tanques.html>.
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA (CEPAL). (2012). *Panorama social de América Latina*. Santiago de Chile.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). (2001). Norma Oficial Mexicana NOM-009-CNA-2001, Inodoros para uso sanitario. Especificaciones y métodos de prueba. D.F.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). (2010). Estadísticas del agua en México. D.F.: SEMARNAT.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). (2011). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. D.F.: SEMARNAT.
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR). (2008) Transferencia de tecnología y divulgación sobre técnicas para el desarrollo humano y forestal sustentable. Sanitario seco.
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR). (2008) Transferencia de tecnología y divulgación sobre técnicas para el desarrollo humano y forestal sustentable: Tecnologías alternativas para el uso eficiente de recursos.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA (CONAE), ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR (ANES), GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ). (2007). Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (Procal-sol). Avances 2007-2009 y Plan Operativo 2009-2010. D.F.: CONAE.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO DE LA ENERGÍA (CONUUE), GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GIZ), ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR (ANES). (2011). Programa para la promoción de calentadores solares de agua (Procal-sol) 2007-2012. Avances 2007-2009 y Plan Operativo 2009-2010.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO DE LA ENERGÍA (CONUUE), GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ), ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR (ANES). (2011). Programa para la promoción de calentadores solares de agua en México (Procal-sol). Avances 2009-2010 y Plan Operativo 2010-2011.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO DE LA ENERGÍA (CONUUE). (2007). Costo de paneles fotovoltaicos para aplicaciones domésticas en comunidades aisladas.
- CONSEJO NACIONAL DE EVALUACIÓN DE LA POLÍTICA DE DESARROLLO SOCIAL (CONEVAL). (2012). Evolución de la pobreza y pobreza extrema nacional y en entidades federativas, 2010-2012. En: *Medición de la pobreza*, Estados Unidos Mexicanos, 2012. Recuperado el 25 de octubre del 2013, de <http://www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/Medici%C3%B3n/Pobreza%202012/Pobreza-2012.aspx>.
- CONSEJO NACIONAL DE EVALUACIÓN DE LA POLÍTICA DE DESARROLLO SOCIAL (CONEVAL). (2011). Informe de evaluación de la política de desarrollo social en México.

- CÓRDOVA, A. (2000). El saneamiento seco como estrategia para reducir la huella hídrica de las ciudades. En: SCOTT, C.A., WESTER, P., MARAÑÓN-PIMENTEL, B. (eds.). *Asignación, productividad y manejo de recursos hídricos en cuencas. Serie Latinoamericana*. (20), 155-171. México, D.F.: Instituto Internacional del Manejo del Agua.
- CÓRDOVA, M., VÁZQUEZ, S. (2011). Tecnologías apropiadas en materia de agua para comunidades rurales. Recuperado el 15 de agosto del 2012, de http://coqcyt.groo.gob.mx/portal/cuenca/Contenido/Presentaciones foro/ok panel 6/P6-04_Sandra Vazquez.pdf.
- COTA, A. D., FOSTER, R. E., GÓMEZ, L. M., ROSS, M. P., HANLEY, C. J., GUPTA, V. P., MONTÚFAR, O., PAREDES, A.R. (2004). Ten-year reliability assessment of photovoltaic water pumping systems in México. En: American Solar Energy Society Conference. Portland.
- CRUZ, E. (27 de abril del 2011). Firco apoya con biodigestores a granjas porcinas. Periódico Punto Medio. Recuperado el 27 de junio del 2012, de <http://www.puntomedio.com.mx/noticias/firco-apoya-con-biodigestores-granjas-porcinas-27371/>.
- CRUZ, L. (2008). Manual de construcción de sistemas de almacenamiento de agua. Secretaría de Desarrollo Social, Gobierno del Estado de Guerrero. Agencia de Desarrollo Social, ITAGRO, S.C.
- DE BUEN, O. (2005). La Experiencia de México en Ahorro de Energía. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). Presentación, Santiago de Chile.
- DE BUEN, O. (22 de julio del 2003). Ilumex: desarrollo y lecciones del primer proyecto mayor de ahorro de energía en México. Recuperado el 4 de abril del 2012, de <http://www.funtener.org.mx/ilumex.html>.
- DEL CAMPO-MÁRQUEZ, C. M., NELSON-EDELSTEIN, P. F., GARCÍA-VÁZQUEZ, M. Á. (2009). La energía del viento en México: Simulación de un parque eólico y aplicación de análisis probabilístico de seguridad. Ingeniería, investigación y tecnología, 10(4), 343-352.
- DEL OLMO, A., VIGNAU, E., RAMÍREZ, A. C., BORJA, V. (2012). Sanitario seco urbano auto-contenido. En: Memorias del XVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM. Salamanca.
- DEVI, H.L., MITRA, S.K., POI, S.C. (2012). Effect of different organic and biofertilizer sources on guava (*Psidium guajava L.*) Sardar. Acta Horticulturae, 959, 201-208.
- DÍAZ R., BERRUETA, V., MASERA, O. R. (2011). Estufas de leña. Cuadernos Temáticos sobre Bioenergía (3), 36.
- DÍAZ, R. (2000). Consumo de leña en el sector residencial de México. Evolución histórica y emisiones de CO2. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- DÍAZ, R. (2012). Cambiando vidas estufas Onil retos de la producción en serie y distribución masiva. En: Memorias del Primer Encuentro Nacional de Ecotecnias. Morelia.
- DYSA SA. (2011). Tanques sépticos, Productos. Recuperado el 8 de mayo del 2012, de <http://www.tdysa.com.mx/>.
- EATON, A. (2010). Mexico biodigester development program. Sustainable Agriculture, Renewable energy, and emissions reductions in the Lerma-Chapala Watershed.
- EATON, A. (2012). Sistema biobolsa. No hay desechos solo recursos. En: Memorias del Primer Encuentro Nacional de Ecotecnias. Morelia.
- ECOSTA. Recuperado el 9 de febrero del 2014, de <http://www.ecosta.org/>.
- EL SOL DE CUERNAVACA (OEM). (24 de abril del 2012). A controlar la quema agrícola, pide Conafor. Cuernavaca. Recuperado el 24 de abril del 2012, de <http://www.oem.com.mx/elsoldecuernavaca/notas/n2517413.htm>
- EL UNIVERSAL (2012). Mexicanos crean sistemas de iluminación más económicos. D.F. Recuperado el 1 de abril del 2012, de <http://www.eluniversal.com.mx/articulos/69949.html>.
- EMMÉXICO. (2009). Filtros de zeolita, fosas sépticas y más. Recuperado el 8 de junio del 2014, de <http://www.emmexico.com/fosa.html>.
- ESPADAS, A., GARCÍA, G., CASTILLO, E. (2007). Redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos: una alternativa para la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Ingeniería, 11(1), 61-69.
- ESPINOSA, S., CONTRERAS, D. (30 de mayo del 2013). Iniciativa de acuerdo con turno a comisión. Guadalajara. Recuperado el 10 febrero del 2014, de <http://transparencia.guadalajara.gob.mx/sites/default/files/iniciativas/2013/Reg.JaimesMayo.pdf>.
- ESQUIVEL, R., MÉNDEZ, M. D., PRESTON, T. R., PEDRAZA, O.G. (2002). Aspectos importantes al introducir biodigestores en explotaciones lecheras a pequeña escala. Livestock Research for Rural Development, 14 (3).
- ESREY, S. A., GOUGH, J., RAPAPORT, D., SAWYER, R., SIMPSON-HÉBERT, M., WINBLAD, U. (ed.) (1998). Ecological sanitation. Stockholm: Swedish International Development Cooperation Agency (Sida).
- FEIBLES-PATRÓN, J. L., HOOGESTEIJN, A. (2008). Análisis del marco legal para la protección del agua subterránea en Mérida, Yucatán. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 12(3), 71-79.
- FIDEICOMISO DE RIESGO COMPARTIDO (FIRCO). (2010). Guía técnica operativa de la: Componente de biodigestores y energía renovable del PROVAR. Recuperado el 6 de junio del 2010, de <http://www.firco.gob.mx/transparencia/FraccionXI/Mec%C3%A1nica%20Operativa%20PROVAR%20Biog%C3%A1s%202009.pdf>.
- FIDEICOMISO DE RIESGO COMPARTIDO (FIRCO). (2011). Diagnóstico general de la situación actual de los sistemas de biodigestión en México. Recuperado el 5 de junio del 2014, de <http://www.rembio.org.mx/2011/Documentos/Publicaciones/C2/diagnostico-nacional-de-biodigestores.pdf>.
- FONDO INTERNACIONAL DE DESARROLLO AGRÍCOLA (FIDA). (2001). Informe sobre la pobreza rural 2001: Oxford University Press.
- FONDO MEXICANO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (FMCN). Informe anual 2008.
- FONDO MEXICANO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (FMCN). Informe anual 2009.
- FONDO PROCUENCA VALLE DE BRAVO (FpCVB). Recuperado el 10 de diciembre del 2013, de <http://www.contracorriente.mx/>.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). (2000). Mejorando la nutrición a través de huertos y granjas familiares. Manual de capacitación para trabajadores de campo en América Latina y el Caribe. Roma.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). (2007). Organic agriculture and food security.
- FOSTER, R. E., COTA, A. D. (2005). Two decades of PV lessons learned in Latin America. Solar World Congress, International Solar Energy Society. Orlando.
- FUNDACIÓN CÁNTARO AZUL. (2013). Recuperado el 18 de diciembre del 2013, de <http://www.cantaroazul.org/>.
- FUNDACIÓN CELESTINA PÉREZ DE ALMADA (FCPA). (2005). Guía de uso de cocinas solares y hornos solares. Recetario solar. Asunción Paraguay.
- FUNDACIÓN IMPLEMENTACIÓN, DISEÑO, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE POLÍTICAS PÚBLICAS (FIdea). (2011). Eficiencia energética y ambiental en el sector vivienda. Revisión de prácticas nacionales e internacionales.
- FUNK, P. A., LARSON, D. L. (1998). Parametric model of solar cooker performance. Solar Energy, 62(1), 63-68.
- GARCÍA DE LEÓN, S., MIER, T. (2010). Visión general de la producción y aplicación de bioplaguicidas en México. Sociedades rurales, producción y medio ambiente, 10(20), 37-63.
- GARCÍA, J. G., LÓPEZ, I. Y., GONZÁLEZ, C. E. (2013). Humedales artificiales: una alternativa al tratamiento de aguas residuales para pequeñas localidades. Caso de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro. En: Memorias de III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Morelia.
- GARCÍA, J. H. (2012). Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la Cd. de México. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- GARCÍA, M. D. (2008). Arquitectura bioclimática, viviendas bioclimáticas en Galicia. Recuperado el 10 febrero del 2014, de <http://abioclimatica.blogspot.mx/>.
- GARCÍA-BARRIOS, L., GALVÁN-MIYOSHI, Y. M., VALSIESO-PÉREZ, I. A., MASERA, O. R., BOCCO, G., VANDERMEER, J. (2009). Neotropical Forest Conservation, Agricultural Intensification, and Rural Out-migration: The Mexican Experience. BioScience 59(10), 863-873.

- GARCÍA-GUTIÉRREZ, C., GONZÁLEZ-MALDONADO, M. B. (2010). Uso de bioinsecticidas para el control de plagas de hortalizas en comunidades rurales. *Ra Ximhai*, 6(1), 17-22.
- GARCÍA-GUTIÉRREZ, C., GONZÁLEZ-MALDONADO, M. B. (2012). Biotecnología e impacto ambiental de los bioinsecticidas en México. En: Memorias del XXXV Congreso nacional de Control Biológico.
- GARDUÑO, R., RODRÍGUEZ, A. A., SÁNCHEZ, M., MARTÍNEZ, M. A., HERNÁNDEZ, M. A., ALCAIDE, I. X., RE, V. G., HERNÁNDEZ, R. (2012). Investigación, desarrollo e innovación tecnológica de sistemas de control de aerogeneradores. *Boletín IIE*.
- GAY, A. (1997). La ciencia, la técnica y la tecnología. En: GAY, A., FERRERA, M. A. (1997). La educación tecnológica: Aportes para su implementación, (79-94). Buenos Aires: CONICET.
- GAY, L., MARTÍNEZ, M., GUEVARA, A., LUNA, F. (2010). Captación pluvial y reutilización de aguas grises mediante humedales artificiales en la Microrregión La Soledad, Guanajuato. *CIENCIA@UAQ* 3(2).
- GIÁCOMAN, G., TAPIA, F. U., PONCE, M. del C. (2010). Tecnología experimental. *Humedales Artificiales*. Fomix Campeche, 2 (5), 6-11.
- GIANNETTI, B. F., BONILLA, S. H., ALMEIDA, C. M. V. B. (2004). Developing eco-technologies: A possibility to minimize environmental impact in Southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 12(4), 361-368.
- GIDDENS, A. (1999). Sociología. Tercera edición revisada. Madrid: Alianza Editorial.
- GLEASON, J. A. (2012). Captación de agua de lluvias en zonas urbanas: El caso de México. Presentación.
- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL (GDF). (2012). Programa acción climática de la Ciudad de México 2008-2012. Informe final 2012. D. F.
- GÓMEZ-URQUIZA, I. (2013). La experiencia de Procuena. En: Memorias del Segundo Encuentro Nacional de Ecotecnias. Morelia.
- GONZÁLEZ-AVILÉS, M., LÓPEZ-SOSA, L. B., SERVÍN-CAMPUZANO, H. (2014). Cocinas Solares: alternativa energética para el medio rural: Desarrollo, implementación y apropiación. Editorial Académica Española.
- GONZÁLEZ-AVILÉS, M., LÓPEZ-SOSA, L. B., SERVÍN-CAMPUZANO, H., GONZÁLEZ, D. (2013). Desarrollo, implementación y apropiación concinas solares para el medio rural en Michoacán: Una alternativa energética para la conservación de recursos forestales maderables. *Energías renovables de la ANES*, 3(17), 12-15.
- GRAGEDA-CABRERA, O. A., DÍAZ-FRANCO, A., PEÑA-CABRIALES, J. J., VERA NUÑEZ, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261-1274.
- GRANADOS, M.L. Recuperado el 1 de junio del 2014, de <http://grupe.org.mx/sitio/>
- GROSSELET, O., GROSSELET, M. (Dirección). (2011). El Istmo de Tehuantepec Oaxaca, México ¿Un corredor migratorio amenazado? [Película].
- GRUPO EOZ. (2013). Recuperado el 18 de diciembre del 2013, de <http://agualimpia.mx/>.
- GRUPO PARA PROMOVER LA EDUCACIÓN Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE (GRUPEDSAC). Recuperado el 1 junio del 2014, de <http://grupe.org.mx/sitio/>.
- GUERRERO, M. T., FRITHCHE, J., MARTÍNEZ, R., HERNÁNDEZ, Y. (2006). Diseño y construcción de sanitarios ecológicos secos en áreas rurales. *Revista Cubana Salud Pública*, 32(3).
- GUTIÉRREZ, H. (2011). Tecnologías mesoamericanas de gestión del agua y la lluvia. Presentación en: 2º Coloquio de Investigación en Arquitectura y Urbanismo.
- GUXVAL (2012). Recuperado el 8 de mayo del 2012, de <http://www.guxval.com.mx/productos-fosas-septicas.php>.
- HERNÁNDEZ, J. Fundamentos de cocinas solares. Universidad de Quintana Roo.
- HERNÁNDEZ, R. (2009). Diseño de humedal artificial para el tratamiento de agua residual en la UTNG. Recuperado el 2 de mayo del 2012, de http://www.comunicacion.ugto.mx/coepes/index.php?option=com_content&view=article&catid=92:humedalesutng&catid=27:quehaceru&Itemid=2.
- HERNÁNDEZ, R., HERRERÍAS, G. (2004). Tecnologías de regeneración de cuencas para la obtención de agua. *Revista Christus, Revista de Teología y Ciencias Humanas*, 69(743), 14-19.
- HERRERA, C., ANDRADE, M.A. (2010). Estudio técnico-económico de colectores solares planos para zonas rurales del Estado de Oaxaca. *Investigación y Ciencia*, 18(50), 55-68.
- HERRERÍAS, G., HERNÁNDEZ, R. (2012). Una experiencia de desarrollo regional sostenible: Programa Agua para Siempre y Grupo Cooperativo Quali. Presentación, Instituto Asunción.
- HIERONIMI, H. (2000). Manual de sanitarios secos y composteros. Primera edición. Tierra amor.
- HIERONIMI, H. (2006). Educación ambiental en la práctica para el ecodesarrollo. En VALDÉS, L., RICALDE, R. (comp.). (2006). Eco-hábitat. Experiencias rumbo a la sustentabilidad, (59-61). D.F.
- HIERONIMI, H., ORTIZ-ÁVILA, T. (2009). Hortalizas escolares ecológicas: Como producir nuestros alimentos. *Correo del Maestro, Revista para Profesores de Educación Básica*, 14(157), 5-17.
- IGLESIAS, R., PANTOJA, J., MOREIRA, J., FARRERA, IBÁÑEZ, G. (2011). Diseño de un secador solar con circulación forzada. *Lacandonia* 5(1), 79-88.
- ILUMÉXICO. (2013). Recuperado el 9 de septiembre del 2013, de <http://agualimpia.mx/>.
- INSTITUTO DEL FONDO NACIONAL DE LA VIVIENDA PARA LOS TRABAJADORES (INFONAVIT), GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ). (2012). Sistema de evaluación vivienda verde (SISEViVe). Presentación, D. F.
- INSTITUTO DEL FONDO NACIONAL DE LA VIVIENDA PARA LOS TRABAJADORES (INFONAVIT). Informe anual de sustentabilidad 2011.
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA). (2008). Recuperado el 2 de julio del 2014, de <http://www.imta.gob.mx/gaceta/antiores/g10-02-2008/tratamiento-calidad-2007.html>.
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA). (2010). Los humedales, recurso barato y eficaz para combatir la contaminación del agua. Acciones IMTA 2009, 2010. Recuperado el 1 de mayo del 2012, de http://www.imta.mx/index.php?option=com_content&view=article&catid=175:los-humedales-recurso-barato-y-eficaz-para-combatir-la-contaminacion-del-del-agua&catid=52:enciclopedia-del-agua&Itemid=80.
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA). (2011). Tratamiento de aguas residuales mediante humedales. Capacitación presencial. Recuperado el 1 de mayo del 2012, de http://www.imta.edu.mx/index.php?option=com_content&view=article&catid=189:curso-tratamiento-de-aguas-residuales-mediante-humedales&catid=4&Itemid=64.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES AGRÍCOLAS Y PECUARIAS (INIFAP). (1990). Guía para la asistencia técnica agrícola Valle del Fuerte. Soya para grano. p. 160-172.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). (2010). Censos de población y vivienda, 2010. Recuperado el 3 de marzo del 2011, de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisep/Default.aspx?t=mdemo13>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). (2013). Clases medias en México. *Boletín de Investigación*, (256), 1-3.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2007). Summary for Policymakers. En: PARRY, M. L., CANZIANI, O. E., PALUTIKOF, J. P., VAN DER LINDEN, P. J., HANSON, C. E. (eds). (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 7-22. Cambridge.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS (IIE). (16 de agosto de 2010). Entra en operación formal el Centro Regional del Tecnología Eólica del IIE. Recuperado el 30 de noviembre del 2011, de http://www.evwind.com/noticias.php?id_not=5921.
- IRASTORZA, V. (2012). Eficiencia energética en el sector doméstico: El caso del Programa Luz Sustentable. *Revista Digital Universitarias*, 13(10).
- JÉQUIER, N., BLANC, G. (1983). En: ARRIOLA, J. (1989). La tecnología adaptada: entre la realidad y el deseo. *Realidad: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades* 8, 179-201.
- JIMÉNEZ-OSORNIO, J. J., RUENES, M. del R., MONTAÑEZ, P. (1999).

- Agrodiversidad de los solares de la península de Yucatán. *Red, Gestión de Recursos Naturales*, (14), 30-40.
- JOLLY, R. (1976). The World Employment Conference: The Enthronement of Basic Needs. *Development Policy Review*, A9 (2), 31-44.
- KHAN, M. H. (2001). La pobreza rural en los países en desarrollo. Su relación con la política pública. Fondo Monetario Internacional (FMI).
- KING, C. W., TWOMY, K. M., STILLWELL, A. S., WEBBER, M. E. (2011). Clean energy and water: Assessment of Mexico for improved water services with renewable energy.
- KIVAISI, A. K. (2001). The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecological Engineering*, 16(4), 545-560.
- KREKELER, M. P. S., PROBST, P., SAMSONOV, M., TSELEPIS, C. M., BATES, W., KEARNS, L. E., MAYNARD, J. B. (2007). Investigations of subsurface flow constructed wetlands and associated geomaterial resources in the Akumal and Reforma regions, Quintana Roo, Mexico. *Environmental Geology*, 53(4), 709-726.
- KREKELER, M. P. S., CALKINS, C., BORKIEWIEZ, O. (2010). Mineralogical and hydrogeologic properties of a partially unconsolidated Pleistocene limestone in the east central Yucatán: implications for the development of subsurface flow constructed wetlands (SFCWs) in the region. *Carbonates Evaporites*, 25 (1), 77-86.
- KUNZIG, R. (2011). Población: 7,000 millones. *National Geographic en Español*, 28(1), 2-36.
- KVARNSTRÖM, E., SAWYER, R., BULNES, M., GARDUÑO, F. (2013). Sanitation and Reuse: Experiences world-wide on reuse of different sanitation flowstreams. Recuperado el 22 de diciembre del 2013, de <http://www.sda.ce.gov.br/index.php/editais-e-licitacoes-novo/category/29-apresentacoes-workshop-reuso-de-agua?download=636%3Aapresentacao-complementar-sobre-o-tema-sanitation-and-reuse20131002>.
- LANDA, R., CARABIAS, J., MEAVE, J. (1997). Deterioro ambiental, una propuesta conceptual para zonas rurales de México. *Economía, Sociedad y Territorio*, I(2), 203-223.
- LENGEN, J. V. (1997). Manual del arquitecto descualzo: cómo construir casas y otros edificios. México, D.F.: Árbol Editorial.
- LIDERAZGO JOVEN. (2012). Recuperado el 2 de febrero del 2014, de <http://liderazgojuven.com/>.
- LOBO, T. (2013). Ha ta tukari. Articulación entre organizaciones y comunidad para el desarrollo sostenible en la sierra Huichol. Primera edición. México.
- LOBO, T., VERA, N. (2013). Ha ta tukari. Buenas prácticas para la implementación de proyectos de captación pluvial y la promoción de hábitos de higiene. Primera edición. México.
- LÖMNITZ, E. (2012). Lluvia Para Todos. Presentación en: IV Asamblea de IRCSA México, D.F.
- LONDON, T., HART, S. L. (2011). Next Generation Business Strategies for the Base of the Pyramid: New Approaches for Building Mutual Value. New Jersey: Pearson Education.
- LÓPEZ, E. (2011). Reflexiones en torno a las tecnologías apropiadas para solucionar problemas de agua potable y saneamiento en zonas rurales. En: Primer Congreso Red de Investigadores Sociales Sobre Agua.
- LÓPEZ, P., TEUTLI, M. M. M., FERNÁNDEZ, A., RUIZ, A. C. Saneamiento seco: alternativa sin impacto ambiental. Recuperado el 10 de julio del 2014, de http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extensio/TA/EC/TAC-60.pdf
- LÓPEZ, V. M., REYES, A. I. (2010). Edificación sustentable para la Ciudad de México: Eficiencia energética en los edificios para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero. Recuperado el 2 de febrero del 2014, de http://www.cvcem-atmosfera.unam.mx/sis_admin/archivos/extensio_edificacion_sustentable.pdf.
- LÓPEZ-SOSA, L. B. (2013). Adopción de ecotecnias en comunidades rurales e indígenas. En: Memorias del Segundo Encuentro Nacional de Ecotecnias. Morelia.
- LÓPEZ-SOSA, L. B. A., GONZÁLEZ, D., GONZÁLEZ-AVILÉS, M. (2012). Diseño, construcción e implementación de la cocina solar Jorhejpataranskua. En: Memoria 36 Semana Nacional de Energía Solar ANES. Energía Sostenible para todos. Cuernavaca.
- LOWE, E. (1993). Industrial Ecology. An Organizing Framework for Environmental Management. *Environmental Quality Management*, 3(1), 73-85.
- MALDONADO, S. (2012). Drogas, violencia y militarización en el México rural. El caso de Michoacán. *Revista Mexicana de Sociología*, 1 (74), 5-39.
- MALLET, A. (2007). Social acceptance of renewable energy innovations: the role of technology cooperation in urban Mexico. *Energy Policy*, 35(5), 2790-2798.
- MARIACA, R. (ed.) (2012). El huerto familiar del sureste de México. Primera edición. D. F.
- MARTÍ, J. Innovación para el Desarrollo y la Cooperación Sur-Sur (IDEASS). Recuperado el 28 de noviembre del 2011, de <http://www.ideassonline.org/public/pdf/BrochureBiodigestoresESP.pdf>.
- MARTÍNEZ, F. (2014). Ficha técnica de la mesita azul.
- MASERA, O. R. (1986). Tecnologías alternativas. *Ciencias*, 52-57.
- MASERA, O. R., DÍAZ, R., BERRUETA, V. (2005). From cookstoves to cooking systems: the integrated program on sustainable household energy use in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 9(1), 25-36.
- MASSA, I., ANDERSEN, M. S. (2000). Special Issue Introduction: Ecological Modernization. *Journal of Environmental Policy and Planning*, 2(4), 265-267.
- MATSUMOTO, K. (2011). Estado del arte de la investigación en energía solar fotovoltaica. Red de fuentes de energía Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).
- MAX-NEEF, M., ELIZALDE, A., HOPENHAYN, M. (2010). Desarrollo a escala humana: una opción para el futuro (23-50) Santiago de Chile.
- MCCARTY, P. L. (2001). The development of anaerobic treatment and this future. *Water Science and Technology*, 44(8), 149-156.
- MEADOWS, D. (1972). Los límites del crecimiento. Fondo de Cultura Económica.
- MEHTA, R. S., ANWER, M. M., MALHOTRA, S. K. (2012). Influence of sheep manure, vermicompost and biofertilizer on growth, yield and profitability of cumin (*Cuminum cyminum L.*) production. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 21(1), 16-19.
- MENDELSON, R., DINAR, A., WILLIAMS, L. (2006). The distributional impact of climate change on rich and poor countries. *Environment and Development Economics*, 11(2), 159-178.
- MENDOZA-ZUZETA, A., RAMÍREZ, L. (coords.). (1998). Pequeños productores, grandes negocios: el potencial económico de los productos agropecuarios comercialmente no tradicionales. De México al Mundo. Memoria de la Primera Exposición Nacional.
- MEHALIT. (2009). Estufas rurales. Presentación. Recuperado el 2 de febrero del 2014, de <http://es.slideshare.net/cempanel/estufas-ahorradoras-de-lea-elementia3>.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA) (Program). (2005). Ecosystems and Human Well-Being: Our Human Planet: Summary for Decision Makers. Island Press.
- MIMIKO, O. N. (2012). Globalization: The Politics of Global Economic Relations and International Business. Durham, N.C.: Carolina Academic.
- MITSCH, W. J., JØRGENSEN, S. E. (2003). Ecological engineering: A field whose time has come. *Ecological Engineering*, 20(5), 363-377.
- MOL, A. P. J. (1997). Ecological modernization: industrial transformations and environmental reform. En: REDCLIFT, M. R., WOODGATE, G. (eds.). (1997). The international handbook of environmental sociology. (138-149).
- MOL, A. P. J. (2000). The environmental movement in an era of ecological modernization. *Geoforum*, 31(1), 45-56.
- MOLLISON, B. (1979). Permaculture two. Practical design for Town and Country in permanent Agriculture. Stanley: Tagari.
- MONTAÑEZ-ESCALANTE, P. I., RUENES-MORALES, M. del R., JIMÉNEZ-OSORNIO, CASTILLO, A., CHIMAL-CHAN, P., LÓPEZ-BURGO, L., AGUILAR-CORDERO, W., ESTRADA-MEDINA, H. (2012). Los huertos familiares en Yucatán. En: VÁSQUEZ-DÁVILA, M. A., LOÉ-

- ALZINA, D. (eds.) (2012). *Aves y huertos de México*, (76-77). Primera edición. Oaxaca: Carteles Editores.
- MONTES, A. K. (2009). Análisis de la contribución de los sanitarios secos al saneamiento básico rural. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana.
- MORALES, A. (1996). Propuestas para promover la investigación y el desarrollo de sistemas fotovoltaicos y otras fuentes renovables de energía en México. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), Departamento de Ingeniería Eléctrica.
- MORALES, R., TORRES, R., RENGIFO, L. A., IRALA, C. (1993). Manual para la construcción de viviendas de adobe. Lima.
- MORILLÓN, D. (2011). Acciones, programas y proyectos para el urbanismo y edificio sustentable en México. En: Congreso Internacional de Urbanismo Sustentable.
- MORTON, J. F. (2007). The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19680-19685.
- MOSER, A. (1996). Ecotechnology in industrial practice: implementation using sustainability indices and case studies. *Ecological Engineering*, 7(2), 117-138.
- MURPHY, J. (2000). Ecological modernization. *Geoforum*, 31(1), 1-8.
- NUÑEZ, D. La estufa Patsari. Recuperado el 12 de enero del 2012, de <http://www.mexiconservacion.org/files/PatsariEsp.pdf>.
- ODEH, L. E. (2010). A comparative analysis of global north and global south economies. *Journal of Sustainable Development in Africa*, 12(3), 1-12.
- OLIVÉ, L. (2007). La ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento. Ética, política y epistemología, México: Fondo de Cultura Económica.
- OLIVÉ, L. (2011). Los retos de las sociedades multiculturales: interculturalismo y pluralismo. *Cuadernos Inter.c.a.mbio*, año 8 (9), 207-227.
- OLIVÉ, L. (2012). Hacia una sociedad del conocimiento en el México multicultural. Memoria de la Reunión General de la Asociación Mexicana de Ciencias: Ciencia y Humanismo. México, D.F.
- OLIVERA, B. (2008). El primer paso para la eficiencia energética en México. Greenpeace. México D.F.
- ORTEGA, E., AMEZCUA, C. (2008). Desarrollo de una metodología base para la transferencia de paquetes tecnológicos integrales y apropiados en materia de agua en zonas marginales. *Tláloc AMN*, (41), 14-20.
- ORTIGOZA, N. (20 de septiembre del 2011). Excluye Infonavit a celdas solares. *ExpokNews*. Recuperado el 2 de febrero del 2013, de <http://www.expoknews.com/excluye-infonavit-a-celdas-solares/>.
- ORTIZ, J. A., VALLE, O. I. (2013). Informe de talleres de transferencia tecnológica sobre biofiltros y sanitarios ecológicos secos. DUMAC.
- OZNAYA, M. (2012). Propuesta de diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en la universidad de la Sierra Juárez. Tesis de licenciatura, Universidad de la Sierra de Juárez.
- PÁEZ, E. (8 de noviembre del 2011). Energía eólica, con el viento en contra. Ciudad de México. *CNN Expansión*. Recuperado el 3 de diciembre del 2011, de: <http://www.cnnexpansion.com/negocios/2011/10/21/energia-eolica-avanza-pese-dificultades>.
- PAMPILLÓN, L., TORRES, M. (2012). Distribución en el país de las fuentes potenciales para la producción de biogás. México. Cuadernos Temáticos sobre Bioenergía.
- PASCUAL, J. B. (2011). Rediseño y ensayo de un biodigestor en la granja experimental de la Universidad Autónoma de Chapingo. Tesis de ingeniería, Universidad Autónoma de Chapingo.
- PEÑA, M. R. (2011). Saneamiento ecológico ¿panacea o caja de sorpresas? *Ingeniería y Competitividad*, 6(2), 83-91.
- PEREA-MERCADO, S. L., ALAYÓN-GAMBOA, J. A., LOPE-ALZINA, D. G. (2012). La diversidad vegetal en solares y el empoderamiento de mujeres en comunidades aledañas a la reserva de la biosfera de Calakmul. En: VÁSQUEZ-DÁVILA, M. A., LOPE-ALZINA D. (eds.) (2012). *Aves y huertos de México*, (90-91). Primera edición. Oaxaca: Carteles Editores.
- PEREIRA, A. Cumpliendo los sueños familiares y las metas productivas. Un ejemplo de manejo adaptativo. La familia Dighiero Perg de Suze, Paysandú. Recuperado el 3 de junio del 2014, de http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R136/R_136_64.pdf.
- PÉREZ, V. (2010). Elaboración de productos deshidratados de nopal verdura. Fundación PRODUCE Sinaloa, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Gobierno del Estado de Sinaloa.
- PERFECTO, I., VANDERMEER, J. (2010). The agroecological matrix alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(13), 5786-5791.
- PILATOWSKY, I. (2009). Refrigeración, aire acondicionado y secador solar. Presentación en: Reunión sobre Energías Renovables UNAM-CINVESTAV.
- PILATOWSKY, I., MARTÍNEZ, R. (2009). Sistemas de calentamiento solar de agua. Una guía para el consumidor, 16-23. México: Trillas.
- PINE, K., EDWARDS, R., MASERA, O. R., SCHILLMANN, A., MARRÓN-MARES, A., RIOJA-RODRÍGUEZ, H. (2011). Adoption and use of improved biomass stoves in rural Mexico. *Energy for sustainable development* 15(2), 176-183.
- PINEDA, A. (26 de julio del 2013) Isla Urbana, el agua donde se necesita. *El Economista*. Recuperado el 5 de enero del 2014, de <http://eleconomista.com.mx/distrit>.
- PROUST, S., MAGAÑA, D. De la Patsari a la Túmben K'óoben: Un proceso participativo de adecuación tecnológica de las estufas ahorradoras de leña. Recuperado el 2 de febrero del 2014, de <http://tuumbenkuoben.files.wordpress.com/2009/05/articulo-analisis-proceso-estufa-tuumben-kooben.pdf>.
- RABEY, M. (1987). Tecnologías tradicionales y tecnología occidental: un enfoque desarrollista. *Revista de antropología*, 8, 98-119.
- RAHMAN, M., WAHID, F. (2013). Empirical Evidence on the Linkages Between Environmental Degradation and Poverty in Bangladesh. *International Journal*, 2(4).
- RAMOS, L. E., CÓRDOVA, A., SAWYER, R. (2003). Restricciones legales y posibilidades para el saneamiento ecológico en México. Construyendo un Reglamento para el Municipio de Tepoztlán.
- RED IBEROAMERICANA PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE (REDDDES). Recuperado el 1 de junio del 2014, de <http://reddesac.wix.com/reddes>.
- RED MEXICANA DE BIOENERGÍA (REMBIO). (2011). La bioenergía en México. Situación actual y perspectivas. Cuaderno Temático sobre Bioenergía, (4), 42.
- REUTERS (28 de enero del 2009). Energía eólica, alternativa para México. La Ventosa. *CNN* en expansión. Recuperado el 3 de diciembre de 2011, de <http://www.cnnexpansion.com/actualidad/2009/01/27/energia-eolica-alternativa-para-mexico>.
- RINCÓN, E. A. (2006). Cocción de alimentos con estufas solares. Presentación en: Seminario de Eficiencia Energética y Energías Renovables en Proyectos Turísticos Comunitarios, México.
- RINCÓN, E. A. (2008). Cocinas solares a la vanguardia en México. *Revista solar*, 27(65), 2-10.
- RIVERO, M. A. (2012). Transferencia de tecnologías apropiadas en la cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán. Recuperado el 3 de diciembre del 2014, de http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=article&id=20906:transferencia-de-tecnologias-apropiadas-en-la-cuenca-del-lago-de-patzcuaro-michoacan&catid=1487:dispositivos-y-tecnologia-alternativas&Itemid=300077.
- RIVERO, M. A., BARRIOS, J. N. (2012). Medición de la apropiación en la transferencia tecnológica. Resultados 2008- 2011 en Pátz., Mich. En: XXII Congreso Nacional de Hidráulica. Acapulco.
- RIZZARDINI, M. F. (2009). Baños secos: Gestión y aprovechamiento de residuos. Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Catalunya.
- ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, A., CHAPIN, S. LAMBIN, E. F., LENTON, T. M., SCHEFFER, M., FOLKE, C., SCHILLHUBER, H. J., NYKVIST, B., DE WIT, C. A., HUGHES, T., VAN DER LEEUW, S., RODHE, H., SORLIN, S., SNYDER, P. K., COSTANZA, R., SVEDIN, U., FALKENMARK, M., KARLBERG, L., CORELL, R. W., FABRY, V. J., HANSEN, J., WALKER, B., LIVERMAN, D., RICHARDSON, K., CRUTZEN, P., FOLEY, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475.
- RODRÍGUEZ-DEL-BOSQUE, L. A., ARREDONDO-BERNAL, H. C.

- (eds.). (2007) Teoría y aplicación del control biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. México.
- ROJAS, T., MARTÍNEZ, J. L., MURILLO, D. (2009). Cultura hidráulica y simbolismo mesoamericano del agua en el México prehispánico. Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- ROMERO-AGUILAR, M., COLÍN-CRUZ, A., SÁNCHEZ-SALINAS, E., ORTIZ-HERNÁNDEZ, M. L. (2009). Wastewater treatment by an artificial wetlands pilot system: evaluation of the organic charge removal. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 25(3) p. 157-167
- ROMERO-HERNÁNDEZ, S., DUARTE, B., ROMERO-HERNÁNDEZ, O., WOOD, D. (2012). Solar energy potential in Mexico's Northern border states. Washington: Mexico Institute.
- ROSALES, E. (2006). Manual para la construcción y mantenimiento de biojardineras.
- ROSAS, F. (27 de abril del 2007). Casas de paja, una alternativa. *El Universal*. Recuperado el 2 de julio del 2014, de <http://www.eluniversal.com.mx/finanzas/57466.html>.
- ROSE, G. D. (2003). Social Experiments in Innovative Environmental Management: The emergence of ecotechnology. PhD Thesis, University of Waterloo.
- RUIZ-MERCADO, I., CANUZ, E., WALKER, J. L., SMITH, K. R. (2013). Quantitative metrics of stove adoption using Stove Use Monitors (SUMs). *Biomass and Bioenergy*, 57, 136-148.
- RUIZ-MERCADO, I., MASERA, O. R., ZAMORA, H., SMITH, K. R. (2011). Adoption and sustained use of improved cookstoves. *Energy policy*, 39(12), 7557-7566.
- SAN MARTÍN. (2011). UV construye humedales artificiales para reutilizar el agua. *Voz Universitaria*. Recuperado el 2 de mayo del 2012, de <http://hoyveracruz.com.mx/notas/13864/UV-construye-humedales-artificiales-para-reutilizar-el-agua.html>.
- SAUCEDO, C. A., GUZMÁN, L. A., LLAMAS, A. (2009). Talleres de fabricación de aerogeneradores. Construido con sus propias manos. *Ide@s CONCYTEG*, 4(43), 31-36.
- SAWYER R., GARDUÑO, F. (2010). La gobernanza del saneamiento requiere de un cambio radical de paradigma. *SARAR Transformación*.
- SAWYER, R. Satisfacción de la demanda de saneamiento sin agua en México. *Promoción a través de la innovación/tecnologías innovadoras*, 253-284.
- SAWYER, R., DELMIRE, A., BUENFIL, A. A. (2003). Holistic ecosan small-town planning: The TepozEco pilot program. In: 2nd international symposium on ecological sanitation.
- SCHUMACHER, E. F. (1973). *The small is beautiful*. Tursen Herman Blume.
- SCHUMACHER, M. (2005). *Vivienda rural para campesinos*. Barrio la Soledad, Estado de México. Tesis de licenciatura, Universidad de las Américas.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). El huerto familiar. Recuperado el 23 de marzo del 2014, de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollo-rural/documents/fichasapt/el%20huerto%20familiar.pdf>.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). (8 de noviembre del 2013). *Evalúan SAGARPA y SEDESOL avance en huertos familiares*. Atempan. Recuperado el 10 de febrero del 2014, de <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/puebla/boletines/2013/noviembre/Documents/B0811R13.pdf>.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). *Olla de agua, jagueyes, cajas de agua o aljibes*. Recuperado el 10 de febrero del 2014, de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Ollas%20de%20agua.pdf>.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER), GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ). (2012). Programa de Fomento de Sistemas Fotovoltaicos en México (ProSolar). México, D.F.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER), GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ). (2012). Programa de Fomento de Sistemas Fotovoltaicos en México (ProSolar). México.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER). (2004). Balance nacional de energía 2003. Primera edición. D.F: Secretaría de energía.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER). (2004). *Energías renovables para el desarrollo sustentable en México*. Secretaría de Energía.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER). (2010). Boletín. Recuperado el 2 de enero del 2014 de, <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=902>.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER). (2010). Servicios Integrales de Energía (SIE) para pequeñas comunidades rurales de México. Recuperado el 6 de julio del 2013, de <http://www.renovables.gob.mx>.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER). (2012). Balance nacional de energía 2011. Primera edición. D.F: Secretaría de energía.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER). (2012). Estrategia nacional de energía 2012-2026.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER). (2012). *Prospectivas del energías renovables 2012-2026*, 73-75. Secretaría de Energía.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER). (2013). *Iniciativa para el impulso de la hidráulica renovable en México*.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE DEL DISTRITO FEDERAL (SMA DF). (2002). Informe: Residuos de lámparas fluorescentes. Dirección de proyectos de Agua, Suelos y Residuos.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). (1999). Norma Oficial Mexicana NOM-006-CNA-1997, Fosas sépticas prefabricadas. Especificaciones y métodos de prueba. D.F.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). (2013). Base de datos del proyecto: Desarrollo ambiental por cuencas y ecosistemas, Lerma- Chapala.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). Base de datos del proyecto: Desarrollo ambiental por cuencas y ecosistemas, Lerma- Chapala.
- SEGUN, N. (2010). Panorama nacional: agua potable y saneamiento en México. Encuentro Regional de Redes de Saneamiento Sostenible. Lima.
- SEPTIC. (2012). Recuperado el 8 de mayo del 2012, de http://www.septic.com.mx/?page_id=26.
- SERRANO-MEDRANO, M., ARIAS-CHALICO, T., GHILARDI, A., MASERA, O. R. (2013). Spatial and temporal projection of fuelwood and charcoal consumption in Mexico. En prensa.
- SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD, INOCUIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA (SENASICA). (2013). Recuperada el 29 de julio del 2013, de <http://www.senasica.gob.mx>.
- SIERRA L., ROMERO, N., ZIZUMBO, T. (2012). Desarrollo regional, electrificación y reorganización socioespacial en Valle de Bravo, México. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 7(13), 243-269.
- SILVA. (2012). Mujeres y maíz: construyendo vías para la soberanía alimentaria de Chiapas. En: *Memorias del Primer Encuentro Nacional de Ecotecnias*. Morelia.
- SINHA, R. K. (1998). Embarking on the second green revolution for sustainable agriculture in India: a judicious mix of traditional wisdom and modern knowledge in ecological farming. *The Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 10(2), 183-197.
- SISTEMA BIOBOLSA (2014). Recuperado el 10 de enero del 2014, de <http://sistemabiobolsa.com/que-hacemos/la-tecnologia/>.
- SMITH, A. (2005). The alternative technology movement: An analysis of its framing and negotiation of technology development. *Human Ecology Review*, 12(2), 106.
- SMITH, A., FRESSOLI, M., THOMAS, H. (2014). Grassroots innovation movements: challenges and contributions. *Journal of Cleaner Production*, 63(15), 114, 124.
- SMITH, R., MINK, T. (comps.). (2012). Study on the rates of adoption of rainwater harvesting systems in Mexico D.F. The effect of various co-participation methods on system adoption rates. Isla Urbana.
- SOLUCIONES ECOLÓGICAS DE BIENESTAR SOCIAL (SEBS). (2010). Recuperada el 8 de junio del 2014, de http://www.sebs.com.mx/productos_estufa.htm.
- SOTOLONGO, P. L., DELGADO, C. J. (2006). La revolución contem

- ránea del saber y la complejidad social. Hacia unas ciencias sociales de nuevo tipo. Primera edición. Buenos Aires: Consejo latinoamericano de ciencias sociales.
- STARANAYA. (2012). Recuperado el 4 de mayo del 2014, de <http://www.staranya.com/primario>.
- STEGER, M. B. (2009). *Globalization: A Very Short Introduction*. New York: Oxford University Press Inc.
- TAMBORREL, G. (2011). El problema ambiental del PET. Blog el ecologista. México. Recuperado el 3 de mayo del 2014, de http://www.elecologista.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=108&Itemid=65.
- TAUB, E. A. (2009). Do Energy-Saving LED Lamps Save Energy? The New York Times. Recuperado el 2 de enero del 2014, de http://bits.blogs.nytimes.com/2009/02/13/do-energy-saving-led-lamps-save-energy/?_php=true&_type=blogs&_r=0.
- TEITEL, S. (1984). Technology creation in semi-industrial economies. *Journal of Development Economics*, 16 (1), 39-61.
- THOMAS, H. (2009). De las tecnologías apropiadas a las tecnologías sociales. Conceptos/estrategias/diseños/acciones. Presentación en: Primera Jornada sobre Tecnologías Sociales, Programa Consejo de la Demanda de Actores Sociales-Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Buenos Aires.
- TILLEY E., LUTHI, C., MOREL, A., ZURBRUGG, C., SCHERTENLEIB, R. (2008). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf.
- TORIELLO, C., MIER, T. (2007). Bioseguridad de agentes de control microbiano, pp. 179-187. En: RODRÍGUEZ-DEL-BOSQUE, L. A., ARREDONDO-BERNAL, H. C. (eds.). (2007) *Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, (179-187). México.
- TORRES, D. (2012). Ecotecnias comunitarias: su aportación a las acciones REDD+ en México. En: *Memorias del Primer Encuentro Nacional de Ecotecnias*. Morelia.
- TORRES, F., GÓMEZ, E. (2006). *Energías para el desarrollo sustentable en México*. Secretaría de energía (SENER), Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GIZ).
- TRANSPARENCIA MEXICANA (2011). Informe del acompañamiento de Transparencia Mexicana al Concurso Público Internacional del Programa Luz Sustentable, convocado por el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, 15.
- UCHIDA, H. (2005). *Eco-technology - Human Environment Conscious Science & Technology. Linking innovation and entrepreneurship for developing countries*. En: Memoria del Simposio Internacional de la Fundación Honda. Hanoi y Ho Chi Minh City.
- UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF), ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SALUD (OMS). (2012). *Progress on Drinking Water and Sanitation 2012 Update*. New York.
- UNITED NATIONS FOUNDATION (UN). (2011). *Rural Population, Development and de Enviroment 2011*. New York.
- UNITED NATIONS FOUNDATION (UN). (2012). *Energy Access Practitioner Network: Towards Achieving Universal Energy Access by 2030*. Washington.
- UNITED NATIONS POPULATION FOUND (UNFPA). (2011). Estado de la población mundial 2011. Recuperado el 2 de febrero del 2014, de http://www.unfpa.org/webdav/site/global/shared/documents/publications/2011/SP-SWOP2011_Final.pdf.
- VALDEZ INGENIEROS (VINSIA). (19 de mayo del 2009). Barreras Desarrollo Mini Hidráulica en México. Recuperado el 1 de septiembre del 2012, de <http://es.scribd.com/doc/17953251/Barreras-Desarrollo-Mini-Hidraulica-en-Mexico-19-Mayo-09>.
- VALDEZ INGENIEROS (VINSIA). (2003) *Panorama de Mini y Micro hidráulica en México. Seguridad Energética en América Latina: Energía Renovable como alternativa viable*. Presentación en: Reunión Ministerial. Montevideo.
- VALDEZ, L. H., ROMERO-HERNÁNDEZ, S. (2010). Energía Hidroeléctrica. En: ROMERO-HERNÁNDEZ, S., ROMERO-HERNÁNDEZ, O., WOOD, D. (eds.). (2010). *Energías Renovables: Impulso político y tecnológico para un México sustentable*, 102-125.
- VAN CAMPEN, B., GUIDI, D., BEST, G. (2000). *Energía solar fotovoltaica para la agricultura y el desarrollo rural sostenibles*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- VARGAS-MEDINA, J. (2009). Deshidratadores solares. Hacia un proceso de apropiación solar de la tecnología. En: *Memorias del Primer Encuentro de Energías Renovables*. Morelia.
- VARGAS-MEDINA, J. (2013). Biorenares y los deshidratadores solares en México. En prensa.
- VARGAS-MEDINA, J. (2013). Deshidratación solar, retos para la generación y el uso sostenido de la tecnología. En: *Memorias del Segundo Encuentro Nacional de Ecotecnias*. Morelia.
- VIDAL, A., VELÁZQUEZ, O., IÑAKI, R., ORTEGA, G. (2012). Diseño y construcción de un secador solar portátil. Construcción de un secador solar portátil. Congreso Internacional de investigación. *Academia Journals*, 4(2), 1613-1618.
- VIGNAU, E. (2009). *Tecnología y conservación. Alternativas para las comunidades del Corredor Biológico Mesoamericano, México*. Corredor Biológico Mesoamericano México. Serie diálogos (4), 14.
- VITOUSEK, P. M., MOONEY, H. A., LUBCHENCO, J., MELILLO, J. M. (1997). Human dominated of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499.
- WARSCHAUER, M. (2004). *Technology and Social Inclusion*. Massachusetts Intitite of Technology.
- WATER AND SANITATION PROGRAM (WSP). (2006). *Saneamiento ecológico. Lecciones aprendidas en zonas periurbanas de lima*. Lima.
- WHIZAR, S. (2012). Presentación. MARIACA, R. (ed.) (2012). *El huerto familiar del sureste de México*. Primera edición. D. F.
- WILSON, F., HUFFAKER, C. B. (1976). The philosophy, scope, and importance of biological control. En: HUFFAKER, C. B., MESSENGER, P. S. (eds.). (1976). *Theory and practice of biological control*, 3-15. Academic Press, New York.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENTAL AND DEVELOPMENT (WCDE). (1987). *Our Common Future (Vol. 383)*. Oxford: Oxford University Press.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). (2012). *Climate Analysis Indicators Tool (CAIT)*. Versión 9.0. Washington.
- YNIESTA, M. (2013). Comunicación personal. Ejecutora en campo de proyectos del FpCVB.
- YSUNZA, A., LÓPEZ, L., MARTÍNEZ, M., DIEZ-URDANIVIA, S. (2010). Caso de estudios de proyectos de SuSanA. Sanitarios secos con separación de orina en una área rural, Tututepec, Oaxaca, México.
- ZURITA, F., ROY, E. D., WHITE, J. R. (2012). Municipal wastewater treatment in Mexico: current status and opportunities for employing ecological treatment systems. *Environmental Technology*, 33(10), 1151-1158.

ANEXO 1:

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS CARENCIAS DE SATISFACTORES BÁSICOS EN MÉXICO

Mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) se identificó la distribución a nivel municipal de cinco carencias de satisfactores básicos relacionados con la vivienda en México: carencia de estufas eficientes de leña para cocinar (es decir, población que cocina con fogones abiertos de leña), carencia de energía eléctrica, carencia de agua entubada, carencia de excusado o sanitario y carencia de piso firme (es decir, un piso diferente al de tierra).

Los mapas fueron realizados con el programa ArcGis 10, para cuatro de ellos se utilizó la información de INEGI del Censo Nacional de Población y Vivienda

2010. Para obtener la información del censo se utilizó SCINCE 2010. De la misma fuente se obtuvieron los archivos “shape” para los municipios. Para el mapa de estufas eficientes se utilizó la base de datos de Serrano *et al*, 2013, que también utiliza datos de INEGI.

Los mapas indican el porcentaje de viviendas por municipio que carecen de un satisfactor básico. Se tomaron en cuenta las viviendas habitadas censadas para el 2010. Para la determinación de las categorías dentro de cada carencia se utilizó el método de clasificación de “natural breaks” o “Jenks”.



Figura 1. Viviendas con Carencia de Estufas Eficientes de Leña por Municipio, México 2010.
Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.



Figura 2. Viviendas con Carencia de Sanitarios por Municipio, México 2010.
Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.



Figura 3. Viviendas con Carencia de Energía Eléctrica por Municipio, México 2010.
Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

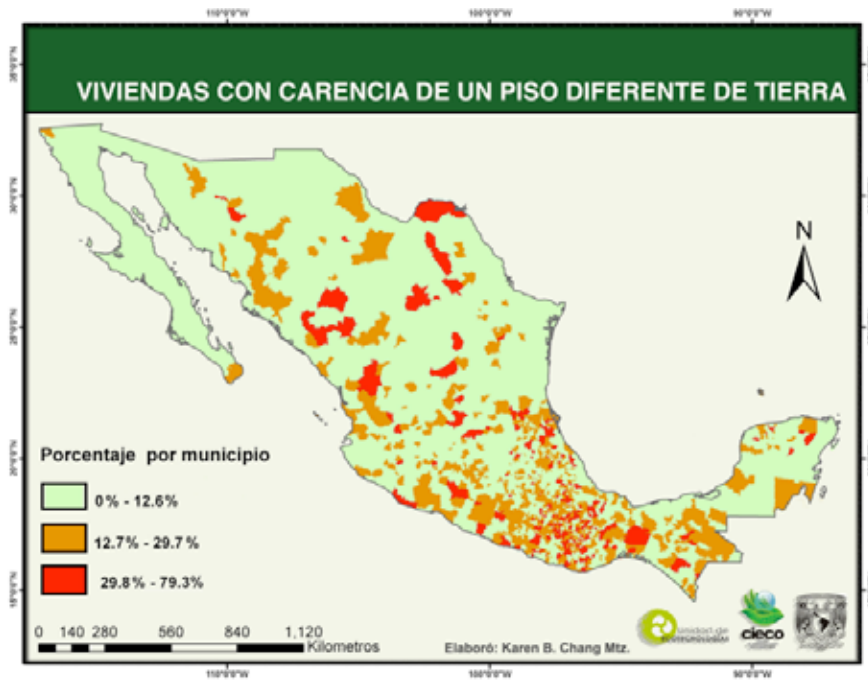


Figura 4. Viviendas con Carencia de Piso Firme, México 2010.
Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.



Figura 5. Viviendas con Carencia de Agua Entubada por Municipio, México 2010.
Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

ANEXO 2:

DIRECTORIO DE ORGANIZACIONES E INSTITUCIONES

ENERGÍA

Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE)

Promoción y gestión de la industria eólica
México, D.F.
(55) 5395 9559
www.amdee.org
gerencia@amdee.org

Asociación Nacional de Energía Solar (ANES)

Divulgación y promoción de la utilización de Energía Solar
México, D.F.
(55) 5601 8763
www.anes.org
anes@anes.org

BioRenaces

Deshidratadores Solares y Energías Renovables
Morelia, Michoacán
(443) 316 9622
www.biorenaces.mx

Bretcon, Ingeniería Solar

Puebla, Puebla (matriz)
(222) 246 8060 / 620 4386
www.bretconenergiasolar.com
director@bretconenergiasolar.com; ventas@bretconenergiasolar.com

Centro de Estudios de Energía, ITESM

Consultoría y educación continua en eficiencia energética y administración de energía y calidad de energía eléctrica
Monterrey, Nuevo León
(81) 8158 2001 / 8358 2000
http://energia.mty.itesm.mx/

Centro Regional de Tecnología Eólica (CERTE)

Desarrollo tecnológico e investigación en energía eólica
Juchitán, Oaxaca
(777) 362 3806 / 362 3811 ext. 7241
http://www.ije.org.mx:8080/SitioGENC/producto02.html
jhuacuz@ije.org.mx

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)

Promoción del aprovechamiento sustentable de la Energía
México, D.F.
(55) 3000 1000
www.conuee.gob.mx

Conermex

Soluciones de energía renovable
Tlalnepantla, Edo. de México
(52) 5384 5130 / 01 800 363 7441
www.conermex.com.mx

Escuela de Energía Solar

Capacitación y educación en energías renovables
Ensenada, Baja California
(646) 136-0615
www.escueladeenergiasolar.org

Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE)

Impulsar acciones para un uso eficiente de la energía eléctrica
México, D.F.
(55) 1101 0520
www.fide.org.mx
fide.contacto@fide.org.mx

Grupo ECOS Innovations

LEDs para iluminación de exteriores
México, D.F.
(55) 4737 5972 al 76
www.grupoecos.com.mx

Iluméxico

Desarrollo comunitario y ahorro energético mediante energía renovable
México, D.F.
(55) 5533 3532
www.ilumexico.mx
info@ilumexico.mx

Illumination

Diseño y distribución de artículos de iluminación
México, D.F.
(55) 5264 3115 / 5264 8889
www.illumination.com.mx
ventas@illumination.com.mx

Industrias Tonalay S.A. de C.V.

Desarrollo de componentes eléctricos, electrónicos y fotovoltaicos y servicios de ingeniería
Zitácuaro, Michoacán
(715) 153 8402 / 153 1192

Innovaluz

Investigación de tecnologías para el ahorro energético
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
(961) 615 5548
www.innovaluz.com.mx

Instituto de Energías Renovables (IER, UNAM)

Investigación aplicada y desarrollo tecnológico en energía
Morelos
(777) 362 0090
dir@cie.unam.mx
www.ier.unam.mx

Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)

Investigación aplicada y desarrollo tecnológico
Cuernavaca, Morelos
(777) 362 3811 / 362 3800
www.iie.org.mx
difusion@iie.org.mx

Laboratorio de Innovación y Evaluación en estufas de Biomasa (LINEB, UNAM)

Evaluar, certificar y estudiar estufas eficientes
Morelia, Michoacán
(443) 322 2777 Ext. 42510
(55) 5623 2777 Ext. 42510

Luminnova

Fabricación y comercialización de productos ahorradores de energía
México, D.F.
(55) 5271 4392 / 2454 3431
www.luminnova.com
info@luminnova.com

MexEnergy

Soluciones en energía solar
México, D.F.
(55) 4169 1826
www.mexenergy.com

OSecam Aerogeneradores

Soluciones en aerogeneradores
México, D.F.
(55) 5542 8806
http://www.osecam.com/
aerogeneradores@osecam.com

Saeca, Energía Solar

Soluciones en energía solar
Puebla, Puebla
(222) 755 6253
www.saeca.com.mx
clientes@saeca.com; ventas@saeca.com

Solartronic S.A. de C.V.

Soluciones en energía solar
Cuernavaca, Morelos
(777) 318 9714
www.solartronic.com

Valdez Ingenieros S.A. de C.V.

Proyectos de ingeniería en mini-hidráulica, ahorro de energía y calidad de energía
Cuernavaca, Morelos
(777) 380 0688
www.supresores.com
vinsa01@gmail.com

ALIMENTACIÓN

Agrobiológicos del Noroeste S.A. de C.V.

Producción de insumos agrícolas amigables con el medio ambiente
Culiacán, Sinaloa
(667) 715 7712/13
www.agrobionsa.com
ventas@agrobionsa.com

Asamblea Comunitaria Miravalle

Participación y Organización Social
México, D.F.
www.comunidadmiravalle.blogspot.com
asambleacomunitariamiravalle@hotmail.com

Asociación de Normalización y Certificación (ANCE)

Certificación de productos
México, D.F.
(55) 5747 4550
www.ance.org.mx

Biofábrica siglo XXI

Producción y comercialización de fertilizantes biológicos
Cuautla, Morelos
(55) 5550 3858 / 5550 9031 / 01 800 8383 444
www.biofabrica.com.mx
contacto@biofabrica.com.mx

Biomanejo integral orgánico sustentable para la agricultura, SPR (BIOSA)

Reproducción de productos microbiológicos para el control de plagas y enfermedades
Los Reyes, Michoacán
juanjosehernandezsegura@gmail.com

Centro nacional de referencia de control biológico (CNRCB)

Desarrollo y establecimiento de estrategias de control biológico
Tecmán, Colima
(313) 324 0745 / 324 2773
(55) 5090 3000 ext. 52966

En este Anexo se incluye una lista de las principales instituciones y organizaciones públicas, académicas, de la sociedad civil y privadas que trabajan en el tema de las ecotecnologías. La lista no es de ningún modo exhaustiva; representa una primera síntesis de lo que seguramente es un universo mucho más rico y variado. La lista se ha organizado de acuerdo con los cinco ejes temáticos de análisis del libro: energía, agua, manejo de residuos, alimentación y vivienda. Por razones de simplicidad de lectura y espacio hemos ubicado a las instituciones en una sola categoría, aunque varias de ellas desarrollan o difunden más de un tipo de ecotecnología.

Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO)

Promoción de agronegocios
México, D.F.
(55) 5062 1200 Ext. 31002
www.firco.gob.mx

Gaia Orgánicos

Asesoría Integral Ambiental
Uruapan, Michoacán
(452) 519 2662
www.gaiaorganicos.com
jisimonz@gmail.com

Gaia Sana

Producción Sustentable de Alimentos
Huasca de Ocampo, Hidalgo
(771) 714 6056
www.gaiasana.org
infogaiasana@gmail.com

Granja Los Eucaliptos

Horticultura Orgánica
El Salto, Jalisco
https://www.facebook.com/granjaloseucaliptos?fref=ts

Grupo Ultraquimia, Promotora Técnica Industrial, S.A. de C.V.

Producción de agroquímicos y orgánicos
Jiutepec, Morelos
(777) 321 1475 / 319 3545
www.ultraquimia.com
info@ultraquimia.com

HELPS International

Estufas Eficientes Onil y productos para la reducción de la pobreza
Rayón, Edo. de México
(55) 2242 4944
enrique@helpsinternational.com

Más Humus

Consejeros en agricultura, permacultura y diseño hidrológico
www.mashumus.com
info@mashumus.com

Plant Health Care de México

Productos biotecnológicos para el mejoramiento de la salud de las plantas y el suelo, así como para el tratamiento de agua
México, D.F.
(55) 5368 1653
www.phcmexico.com.mx

Productores Agrícolas por la Calidad, SPR de RL (PROCAL)

Producción y distribución de abonos y fitosanitarios
Los Reyes, Michoacán
(354) 542 5888 / 101 3214

Red Mexicana de Tianguis y Mercados Orgánicos

Promoción de la agricultura orgánica y el mercado nacional de sus productos
Texcoco, Edo. de México; y Guadalajara, Jalisco
(595) 952150
www.tianguisorganicos.org.mx
coordinacion@tianguisorganicos.org.mx

Servicios Integrales para el Campo S.C. (SICAMPO)

Motozintla, Chiapas
(962) 6410191 / (962) 641 0306

Sociedad Mexicana de Control Biológico (SMCB)

Promover y mejorar el conocimiento del uso del control biológico
México, D.F.
socmexcontrolbiologico@gmail.com
http://www.smc-b-mx.org/

The Green Corner

Comercialización de productos orgánicos, agroecológicos, silvestres y biodegradables
México, D.F.
(55) 2454 4694 / 2608 6000
www.thegreencorner.org
info@laesquinaverde.com

AGUA

Asociación Internacional de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (IRSCA por sus siglas en inglés)

Recolección de Agua de Lluvia
https://www.facebook.com/ircsamx/info

Centro de Innovación en Tecnología Alternativa (CITA)

Fomentar prácticas para salvaguardar el agua Cuernavaca, Morelos
(777) 322 8638
http://esac.laneta.apc.org/citaesp.htm
acua@terra.com.mx

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV)

México, D.F.
(55) 5747 3800
www.cinvestav.mx

Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI-CP)

Aprovechamiento racional del agua de Lluvia
Montecillo, Edo. De México
(595) 952 0238 / 951 0323
http://www.colpos.mx/lluviatl/
dolivar@colpos.mx; anayam@colpos.mx;
irrigajuan@colpos.mx

Fundación Cántaro Azul

Soluciones Integrales para el acceso al Agua
San Cristóbal de las Casas, Chiapas
(967) 631 5817
www.cantaroazul.org
mas@cantaroazul.org

Grupo Balsas

Estudio y Manejo de Ecosistemas
Morelia, Michoacán
(443) 274 3912
www.grupobalsas.org

Grupo EOZ

Empresa Social dedicada al desarrollo de purificadores de agua
La Paz, Baja California Sur
(612) 128 7202
www.agualimpia.mx
admin@grupoeoz.com; ventas@grupoeoz.com

Guxval

Tratamiento de aguas sanitarias
Guadalajara, Jalisco
(33) 3824 9684 / 3823 6169
www.guxval.com.mx

Instituto Mexicano de la Tecnología del agua (IMTA)

Manejo del agua
Jiutepec, Morelos
(777) 329 3600
www.imta.gob.mx

Isla Urbana

Captación de agua de lluvia
México DF
(55) 5446 4831
www.islaurbana.org
info@islaurbana.org

Soluciones Hidropluviales S.A. de C.V.

Aprovechamiento de agua de lluvia
México, D.F.
(55) 5554 8515 / 01 800 838 2132
www.hidropluviales.com
ventas@hidropluviales.com; soluciones@hidropluviales.com

Star Anaya

Tatamiento de aguas residuales
Zapopan, Jalisco
(33) 3612 1605
www.staranaya.com
contacto@anayagrupo.com

MANEJO DE RESIDUOS

Migisec

Sanitarios Ecológicos
Zapopan, Jalisco
(33) 3791 0855
www.migisecjalisco.com
contacto@migisecjalisco.com; migisec.jalisco@yahoo.com.mx

Sistema Biobolsa

Desarrollo, investigación y difusión de biodegestores de bajo costo
México, D.F.
(55) 5211 8617 / 01 800 472 6521
www.sistemabiobolsa.com
contacto@sistemabiobolsa.com

Urimex

Mingitorios secos
México, D.F.
(55) 3619 9127
www.urimex.mx
info@urimex.com.mx

VIVIENDA

Arquitectura y Biósfera S.A. de C.V.

Soluciones bioclimáticas y sensoriales en arquitectura
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
(961) 212 0934
www.biosarqs.com
contacto@biosarqs.com

Ayúdame que También Soy Mexicano

Auto-construcción de viviendas
México, D.F.
(55) 5566 5856
www.atm.org.mx
rarieta@atm.org.mx

Bioconstrucción y Energía Alternativa

Arquitectura ecológica y energía solar y eólica
Monterrey, Nuevo León
(81) 8040 8080
México, D.F.
(55) 1555 7195 y 96
www.bioconstruccion.com.mx
info@bioconstruccion.com.mx

Échale a tu casa

Proceso de auto-construcción y fortalecimiento del tejido social de las comunidades
México, DF.
01 800 000 91 00 / (55) 55 63 52 00
www.echale.com.mx/
informes@echale.com.mx

Eco-construtores Oaxaca

Construcción natural
Oaxaca, Oaxaca
(951) 544 1234
www.ecoconstrutoresoaxaca.com
ecoconstrutoresoaxaca@gmail.com

Hombres de Maíz A.C.

Permacultura y construcción con súper adobe
Guanajuato, Guanajuato
(045) 462 482 7067
www.hombresdemaiz.com.mx
contacto@hombresdemaiz.com.mx

Manufacturas Especializadas Metálicas para la Industria de la Construcción S.A. de C.V. (MEMICSA)

Materiales para la construcción, estufas mejoradas de leña
Irapuato, Guanajuato
(462) 6623 6233
aureliogasa@hotmail.com

Mexalit - Eureka

Materiales para la construcción
01 800 363 9254
www.mexalit.com
info@mexalit.com

Proyecto San Isidro

Centro de capacitación e impartición de talleres
Tlaxco, Tlaxcala
(241) 496 0665
www.proyectosanisidro.com
proyectosanisidro@hotmail.com

INTEGRALES

Alternativas y procesos de participación social A.C.

Impulso de procesos de participación social
México, D.F.
(55) 56 59 60 18
www.alternativas.org.mx
info@alternativas.org.mx

Centro de Ciencias Genómicas, UNAM
Investigación sobre genómica microbiana y de plantas, y ecológica
Cuernavaca, Morelos
(777) 313 9877
www.ccg.unam.mx

Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco), UNAM
Generación de conocimiento científico y tecnológico para la conservación, restauración, ordenamiento y aprovechamiento de los ecosistemas, recursos naturales y servicios
Morelia, Michoacán
(443) 322 2704
(55) 5623 2704
www.oikos.unam.mx

Centro de Mujeres Tonantzin A.C.
Ecología Sustentable para familias de bajos recursos
Cd. Juárez, Chihuahua
(656) 612 3669
http://www.corazonesqueeducan.mx/corazones/index.php?catid=38&id=62:tonantzin&opcion=com_content&view=article

Centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional (CIIDIR, IPN)
Investigación básica y aplicada para contribuir al desarrollo integral
Guasave, Sinaloa
(687) 872 9625 y 26
www.ciidirsinaloa.ipn.mx
ciidirs@ipn.mx

Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD, UDG)
Innovación e Investigación en un marco de sustentabilidad
Guadalajara, Jalisco
(33) 1202 3000
www.cuaad.udg.mx

El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)
Investigación científica, que busca contribuir al desarrollo sustentable
San Cristóbal de las Casas, Chiapas
(967) 674 9000
www.ecosur.mx

Colegio de Postgraduados de Veracruz (COLPOS VER)
Genera, difunde y aplica conocimiento para el manejo sustentable de los recursos
Xalapa, Veracruz
(229) 201 0770 ext 64301, 64302, 64307, 64309
www.colpos.mx/web11/index.php/campus-veracruz/educacion-veracruz
dirvc@colpos.mx; subinver@colpos.mx; agroecosistemas@colpos.mx; vincv@colpos.mx

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)
Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico
Zapopan, Jalisco
(33) 3777 7000 / 01 800 737 0000
www.conafor.gob.mx
divulgación@conafor.gob.mx

Ecosta Yutu Cuii
Trabajo Integral en Comunidades
Santa Rosa de Lima, Oaxaca
(954) 543 8284
<https://www.facebook.com/EcostaYutuCuii/timeline>
ecostayutucuii@yahoo.com.mx

Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN)
Mobilización de recursos financieros enfocados a la conservación
México, D.F. (Oficina central)
(55) 5611 9779
info@fmcn.org
www.fmcn.org

Fondo Pro-Cuenca Valle de Bravo (FPCVB)
Fomento de las condiciones políticas y financieras para proteger, conservar y restaurar la vocación hidrológica de la Cuenca
Valle de Bravo, Edo. De México
fondoprocuenca@prodigy.net.mx

Fundación Mexicana para el Desarrollo Rural A.C.
Proyectos de empleo, educación y desarrollo rural
México, D.F.
(55) 5530 0442
www.fmdr.org.mx
fundacion@fmdr.org.mx

Granja Orgánica Tequío
Agricultura y construcción sustentable, ecotecnología y educación
Atlixco, Puebla
(222) 232 0821
www.facebook.com/GranjaTequio
info@granjatequio.com.mx

Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiaada (GIRA)
Programas de energía rural (estufas eficientes de leña "Patsari"), agroecología, y de forestería comunitaria
Pátzcuaro, Michoacán
(434) 342 3216
www.gira.org.mx
giraac@gira.org.mx

Grupo para Promover la Educación y el Desarrollo Sustentable A.C. (GRUPEDSAC)
Capacitación en tecnologías alternativas para el desarrollo sustentable
Naucalpan, Edo. De México
(55) 5294 4552 / 5294 0985 / 01 800 837 6707
www.grupe.org.mx
info@grupedsac.org.mx

Indisect
Ingeniería y diseño de Sistemas Ecotécnicos
Santa Ana Chiautempan, Tlaxcala
(246) 466 5705
www.indisect.com
buzon@indisect.com

Instituto Internacional de Recursos Renovables (IRRI México)
Promoción del uso sustentable de recursos naturales
México, D.F.
info@irrimexico.org
(55) 5256 5686
www.irrimexico.org
info@irrimexico.org

Instituto Tonatzin Tlalli (IIT)
Centro demostrativo de permacultura
Ejuta de Crespo, Oaxaca
01 800 837 67 07 / (55) 5594 4552
www.grupe.org.mx/sitio/
centros-demostrativos/paraje-bonanza-itt/

Las Cañadas Bosque de Niebla
Cooperativa para la generación de modelos de vida sostenibles
Huatusco, Veracruz
(273) 734 1577
www.bosquedeniebla.com.mx
bisquedeniebla@prodigy.net.mx

Lazos de Confianza Acciones que Impulsan A.C.
Desarrollo sustentable en comunidades indígenas de alto índice de marginación y/o rezago económico del Estado de Puebla
Puebla, Puebla
(222) 574 0046
www.lazosdeconfianza.org
contacto@lazosdeconfianza.org

Proyecto Estratégico de Seguridad Alimentaria (PESA)
Fomentar el bienestar y el bien común de los individuos y sus comunidades rurales
México, D.F.
(55) 5601 5332
www.pesamexico.org
utn.info@utn.org.mx

Red Iberoamericana para el Desarrollo Sustentable (REDDes)
Preservar y restaurar sistemas ecológicos
Xalapa, Veracruz
(228) 186 4539
contacto@reddes.org
www.reddesac.wix.com/reddes

Ruta Ahimsa
Permacultura y formas de vida alternativa
Querétaro, Querétaro
(442) 212 1450
www.rutaahimsa.org
permacultura@rutaahimsa.org

SARAR Transformación
Desarrollo y promoción de sistemas de saneamiento ecológico
Tepoztlán, Morelos
(739) 395 7504 y 05
www.sarar-t.org

Soluciones Ecológicas de Bienestar Social (SEBS)
Tecnologías Verdes
Mérida, Yucatán
(999) 927 1772
www.sebs.com.mx
ventas@sebs.com.mx

Tierramor
Permacultura
Erongarícuaro, Michoacán
(044) 443 373 3361
info@tierramor.org
www.tierramor.org

Unidad de Ecotecnologías, UNAM
Investigación aplicada en el área tecnológica para el uso sustentable de recursos naturales
Morelia, Michoacán
(443) 322 2777 Ext. 42510
(55) 5623 2777 Ext. 42510
www.oikos.unam.mx/ecotec
ecotecnias@cieco.unam.mx

Universidad Intercultural Indígena (UIIM)
Cultura local y conservación de recursos naturales
Pátzcuaro, Michoacán
(434) 342 23 07 / 342 5532
contacto@uiim.edu.mx
www.uiim.edu.mx

U'yo'ólché A.C.
Cultura local y conservación de recursos naturales
(938) 8340176
Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo
<http://uyoolche.wordpress.com/>
info@uyoolche.org

ANEXO 3: ACRÓNIMOS

ANCE: Asociación Nacional de Normalización y Certificación	para el Uso Eficiente de la Energía (antes Comisión Nacional para el Ahorro de Energía – CONAE)	Climático – INECC)	PLS: Programa Luz Sustentable
ANES: Asociación Nacional de Energía Solar	CRE: Comisión Reguladora de la Energía	INECC: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (antes Instituto Nacional de Ecología – INE)	PROCALSOL: Programa para la promoción de calentadores solares de agua en México
CAIS: Centro de Aprendizaje e Intercambio de Saberes	CSA: Calentadores solares de agua	INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía	PRONASOL: Programa Nacional de Solidaridad
CDI: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas	CSJ: Cocina Solar Jorhejpatarnskua	Infonavit: Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores	PyMES: Pequeñas y Medianas Empresas
CERTE: Centro Regional de Tecnología Eólica	CUAAD: Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño	INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	RASA: Red de Alternativas Sustentables Agropecuarias de Jalisco
CFE: Comisión Federal de Electricidad	ECOSUR: El Colegio de la Frontera Sur	INVI: Instituto de Vivienda	REDDES: Red Iberoamericana para el Desarrollo Sustentable
CFL: Lámparas fluorescentes compactas	FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura	IPN: Instituto Politécnico Nacional	RMET: Red de Módulos de Ecotecnologías
CIDECALLI-CP: Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia	FGRA: Fundación Gonzalo Ríos Arronte	IRRI: Instituto Internacional de Recursos Renovables	SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
CIDEM: Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán	FIDE: Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica	ITESM: Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey	Sarar-T: Sarar Transformación, SC
CIDETEQ: Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica	FIRCO: Fideicomiso de Riesgo Compartido	ITT: Instituto Tonantzin Tlalli	SCALL: Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia
CIEco: Centro de Investigaciones en Ecosistemas	FMCN: Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza	LED: Light Emitting Diode	SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes
CINVESTAV: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	FMVZ: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	LINEB: Laboratorio de Innovación y Evaluación en Estufas de Biomasa	SEDESOL: Secretaría de Desarrollo Social
CITA: Centro de Innovación en Tecnologías Alternativas	FpCVB: Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo	M2M: Metano a Mercados	SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
CO2e: Dióxido de Carbono equivalente	GDF: Gobierno del Distrito Federal	NOM: Norma Oficial Mexicana	SENER: Secretaría de Energía
COLPOS: Colegio de Postgraduados	GEF: Fondo Ambiental Global del Banco Mundial	NORMEX: Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación	SES: Sanitarios Ecológicos Secos
CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología	GEI: Gases de Efecto Invernadero	NTCL: Norma Técnica de Competencia Laboral	SHF: Sociedad Hipotecaria Federal
CONAE: Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (ahora Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía – CONUEE)	GIRA: Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiaada, A.C.	ONG's: Organizaciones No Gubernamentales	SIE: Proyecto de Servicios Integrales de Energía
CONAFOR: Comisión Nacional Forestal	GIZ: Cooperación Técnica Alemana	ONNCE: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación	SUM: Stove Use Monitor
CONAGUA: Comisión Nacional del Agua	GRUPEDSAC: Grupo para Promover la Educación y el Desarrollo Sustentable, A.C.	ONU: Organización de las Naciones Unidas	TDF: Tanque de descarga de fondo
CONANP: Comisión de Áreas Naturales Protegidas	IER: Instituto de Energías Renovables (antes Centro de Investigación en Energía – CIE)	OSC: Organizaciones de la Sociedad Civil	UACH: Universidad Autónoma Chapingo
CONAVI: Comisión Nacional de Vivienda	IIE: Instituto de Investigaciones Eléctricas	PAPIIT: Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación	UADY: Universidad Autónoma de Yucatán
CONUEE: Comisión Nacional	ILUMEX: Proyecto de Uso Racional de Iluminación en México	PDD: Project Design Document	UAEM: Universidad Autónoma del Estado de México
	IMTA: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	PECC: Programa Especial de Cambio Climático	UAM: Universidad Autónoma Metropolitana
	INE: Instituto Nacional de Ecología (ahora Instituto Nacional de Ecología y Cambio	PESA: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria	UASLP: Universidad Autónoma de San Luis Potosí
		PET: Politereftalato de Etileno	UdeC: Universidad de Colima
		PINCC: Programa de Investigación en Cambio Climático	UDG: Universidad de Guadalajara

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Ejemplos de estufas de leña mejoradas difundidas en México..	31
Tabla 2.2.	Productos de mayor valor económico en fresco y deshidratados en México.	38
Tabla 2.3.	Datos de sistemas fotovoltaicos implementados en México	46
Tabla 2.4.	Eficacia luminosa y tiempo de vida de las principales tecnologías de iluminación.	51
Tabla 2.5.	Cifras de la difusión de CFL mediante programas del FIDE.	53
Tabla 2.6.	Modelo de operación de Iluméxico.	53
Tabla 2.7.	Principales actividades realizadas en el marco del Procaolsol.	57
Tabla 2.8.	Obras hidráulicas antiguas para el aprovechamiento del agua de lluvia.	59
Tabla 2.9.	Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales municipales en operación en 2011.. . . .	68
Tabla 2.10.	Empresas que difunden sistemas sépticos en México y descripción de sus tecnologías y servicios.	70
Tabla 2.11.	Tipos de experiencias de saneamiento seco en México y sus características durante la década de los 90.	73
Tabla 2.12.	Tecnologías para atrapar olores en mingitorios que se difunden en México.	77
Tabla 2.13.	Número de biodigestores de laguna instalados en México hasta mayo de 2011.	81
Tabla 2.14.	Ecotecnias demostradas en los centros de capacitación de GRUPEDSAC, con respecto a la satisfacción de necesidades básicas.	95
Tabla 2.15.	Fases del programa de acompañamiento a empresas socio-ecológicamente responsables..	95
Tabla 2.16.	Resultados del programa de implementación de ecotecnias del FpCVB.	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.	Niveles globales de carencia de cuatro necesidades básicas	6
Fig. 1.1.	Transición tecnológica propuesta por Moser (1996).	11
Fig. 1.2.	Estufa de leña mejorada y sanitario ecológico seco. Estas tecnologías han sido ampliamente difundidas como Tecnologías Apropriadas en zonas rurales de diversos países en desarrollo.	13
Fig. 1.3.	Características genéricas del desarrollo tecnológico convencional (mitad superior del diagrama) y atributos principales de las Tecnologías Alternativas (o Apropriadas) de acuerdo con Smith (2005).	14
Fig. 1.4.	Movimientos de replanteamiento tecnológico en orden cronológico desde el surgimiento del ambientalismo en la década de los 60 hasta el siglo XXI.	15
Fig. 1.5.	Beneficios que brindan distintas ecotecnologías.	18
Fig. 2.1.	Distribución de las clases sociales en México de acuerdo con los resultados de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares en 2000 y 2010.	21
Fig. 2.2.	Evolución absoluta y relativa de la población rural (población en localidades menores a 2,500 habitantes) en México durante el periodo de 1960 a 2010.	22
Fig. 2.3.	Porcentaje de viviendas particulares habitadas totales y en áreas urbanas (>2,500 hab.) y rurales (<2,500 hab.) que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, excusado y piso diferente de tierra.	22
Fig. 2.4.	Situación actual a nivel municipal con respecto al número de carencia de satisfactores básicos en la vivienda.	24
Fig. 2.5.	Necesidades Humanas Básicas (o ejes de análisis) considerados en este estudio.	25
Fig. 2.6.	Ejemplos de ecotecnias para la satisfacción de cuatro necesidades básicas	26
Fig. 2.7.	Ejemplo de categorización de ecotecnias orientada a usos finales/tareas específicas. Caso de la cocción doméstica.	27
Fig. 2.8.	Relación de las ecotecnias analizadas, organizadas por necesidad básica y tarea específica.	28
Fig. 2.9.	Beneficios de las estufas de leña mejoradas en la calidad de vida de los usuarios.	30
Fig. 2.10.	Estufa Túumben K'óoben.	30
Fig. 2.11.	Estufa Onil.	30
Fig. 2.12.	Pruebas técnicas en el LINEB del CIEco.	32
Fig. 2.13.	Elaboración de tortillas con un fogón tradicional en Tanaco, Michoacán.	33
Fig. 2.14.	Elaboración de alimentos con una Patsari en Uricho, Michoacán.	34
Fig. 2.15.	Monitoreo de estufas mejoradas en la localidad de Taretan, Michoacán.	34
Fig. 2.16.	Horno y comal solares Tolakatsin.	35
Fig. 2.17.	Olla solar difundida por el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.	35
Fig. 2.18.	Cocina solar CSJ desarrollada por la UIIM.	36
Fig. 2.19.	Capacitación bilingüe español-purépecha sobre cocinas solares a grupos de mujeres indígenas en Santa Fe de la Laguna.	37
Fig. 2.20.	Rodajas de frutas en charola para deshidratación.	38
Fig. 2.21.	Deshidratador solar comercial de armario para uso doméstico.	39
Fig. 2.22.	Taller sobre deshidratadores solares impartido en el marco del 1 ^{er} Encuentro Nacional de Ecotecnias, en Pátzcuaro, Michoacán.	40
Fig. 2.23.	Parque eólico La Venta, Juchitán, Oaxaca.	41
Fig. 2.24.	Sistema autónomo híbrido (eólico-solar).	43
Fig. 2.25.	Taller de construcción de aerogeneradores a pequeña escala.	43
Fig. 2.26.	Sistema fotovoltaico implementado en una vivienda rural.	44
Fig. 2.27.	Línea de tiempo sobre la implementación de sistemas fotovoltaicos en México.	45
Fig. 2.28.	Paneles fotovoltaicos de uso comunitario.	46
Fig. 2.29.	Capacidad instalada y generación de electricidad mediante sistemas fotovoltaicos en México durante el período 2005-2011.	47
Fig. 2.30.	Resultados de una evaluación sobre la percepción de un grupo de usuarios con respecto al funcionamiento de sus sistemas fotovoltaicos.	48

Fig. 2.31. Ejemplo de turbinas utilizadas en sistemas hidroeléctricos.	49
Fig. 2.32. Sistema hidroeléctrico Miguel Alemán en Valle de Bravo, Edo. de México, Ixtapantongo.	50
Fig. 2.33. Distintos tipos de focos, de izquierda a derecha: incandescente, fluorescente y LED.	51
Fig. 2.34. Iluminación en una vivienda rural.	52
Fig. 2.35. Colector solar con tubos evacuados.	55
Fig. 2.36. Calentador solar de colectores planos.	55
Fig. 2.37. Instalaciones totales anuales de sistemas solares de calentamiento de agua, metas anuales de instalación establecidas por Procalsol y capacidad total instalada de CSA en México.	58
Fig. 2.38. Tlaloque en uso.	60
Fig. 2.39. Ejemplo del sistema integral de captación de agua de lluvia del FpCVB.	61
Fig. 2.40. Ejemplo de construcción de cisterna de ferrocemento.	62
Fig. 2.41. Mesita Azul instalada en casa rural y apoyo técnico.	63
Fig. 2.42. Ejemplos de dispositivos desarrollados por Grupo EOZ: FiltrEOZ y LlavEOZ, respectivamente.	63
Fig. 2.43. Uso de LlavEOZ en una comunidad rural.	63
Fig. 2.44. Biofiltro implementado por GRUPEDSAC.	64
Fig. 2.45. Biofiltro difundido por Proyecto Vida Rural Sustentable.	65
Fig. 2.46. Humedal para el tratamiento de las aguas residuales de la comunidad de Cucuchucho, Tzintzuntzan, Michoacán.	66
Fig. 2.47. Humedal para el tratamiento de las aguas residuales de Erongarícuaro, Michoacán.	67
Fig. 2.48. Diagrama de una fosa séptica.	68
Fig. 2.49. Fosa séptica demostrativa (Museo del Agua).	68
Fig. 2.50. Sanitario ecológico seco implementado por el Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo.	71
Fig. 2.51. Sanitarios abandonados en una escuela rural de Michoacán.	75
Fig. 2.52. Factores de éxito y fracaso en proyectos relacionados con la implementación de sanitarios secos en México.	76
Fig. 2.53. Mingitorio seco junto a sanitario ecológico seco.	77
Fig. 2.54. Mingitorio seco con tecnología Ki-válvula.	78
Fig. 2.55. Sistema Biobolsa implementado en el Estado de México.	79
Fig. 2.56. Biodigestor modular implementado por SEMARNAT.	81
Fig. 2.57. Huerto biointensivo de la Cooperativa Cañadas Bosque de Niebla.	83
Fig. 2.58. Huertos de traspatio difundidos por el Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo.	84
Fig. 2.59. Gallina ciega infectada por hongos entomopatógenos.	85
Fig. 2.60. Raíz de maíz criollo asociado con calabaza y frijol inoculado con azospirillum y micorrizas.	86
Fig. 2.61. Criterios principales para el análisis del lugar de construcción.	89
Fig. 2.62. Taller de construcción con adobe.	90
Fig. 2.63. Casa construida con adobe.	90
Fig. 2.64. Construcción con paja, madera y adobe.	91
Fig. 2.65. Construcción con PET y paja.	91
Fig. 2.66. Participantes del curso de RMET.	93
Fig. 2.67. Trabajo en el tejido de la malla para una cisterna de ferrocemento.	94
Fig. 2.68. Recorrido didáctico en los centros demostrativos de GRUPEDSAC.	94
Fig. 2.69. Pileta para agua y bomba de mecate implementada por FpCVB.	96
Fig. 2.70. Construcción de un sanitario ecológico seco.	96
Fig. 2.71. Terrazas para contención de suelo y agua.	97
Fig. 2.72. Museo del Agua en Tehuacán, Puebla.	97
Fig. 2.73. Ejemplos de ecotecnias implementadas por Proyecto Familia Rural Sustentable. (Biofiltro, baño seco, estufa eficiente de leña, huerto de traspatio).	98
Fig. 3.1. Comparación general de las ecotecnias descritas con respecto a sus características.	100

LA ECOTECNOLOGÍA EN MÉXICO



Este libro se terminó de imprimir en la Ciudad de México,
en noviembre de 2014. Para su composición
se utilizaron las tipografías Garamond
y Myriad. La primera edición
consta de 1,000 ejemplares.

