

Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo

Domingo Acosta / Alfredo Cilento Sarli
IDEC / FAU-UCV

Resumen

La necesidad de atender e intentar resolver los problemas que afectan la calidad de vida de los actuales habitantes del planeta, sin comprometer la posibilidad de que las futuras generaciones puedan disponer de recursos para enfrentar los suyos, es una referencia directa a la modificación del medio ambiente natural, actividad característica de los arquitectos e ingenieros, y señala la característica fundamental del concepto de sostenibilidad: es un enfoque de carácter multifocal, que implica aspectos tecnológicos, políticos, sociales, económicos, ecológicos y éticos. En este artículo se desarrollan un conjunto de estrategias y se plantea una agenda de I&D que permiten definir las características que se aspira detenten las edificaciones, particularmente viviendas, para el logro de una mayor sostenibilidad o ecoeficiencia.

Abstract

The need of attending and solving the problems that affect our quality of life without jeopardizing the future generations deals directly with the modification of environment, an activity commonly carried by architects and engineers that points out the fundamental characteristic of sustainability: a multi-focus approach implying technological, politic, economic, social, ethical and ecological aspects. This article resumes a group of strategies and elaborates an agenda of investigation and development to define those characteristics expected in housing for the better achieve of sustainability and eco-efficiency.

Este artículo fue solicitado para el número especial dedicado al XXº aniversario de *Tecnología y Construcción*, publicación especializada del IDEC-UCV en el campo de la investigación y el desarrollo (I&D) en las disciplinas asociadas a las ciencias de la construcción. En el texto se resumen buena parte de los planteamientos que los autores hemos venido desarrollando a través de investigaciones sobre el tema de la sostenibilidad de la construcción y que constituyen la sustentación fundamental de los cursos de postgrado de Desarrollo Tecnológico de la Construcción y Arquitectura y Construcción Sostenibles que se dictan en el IDEC, Instituto que también en este año 2005 está celebrando treinta años de fundado. En este trabajo, además de la presentación de un conjunto de estrategias para un hábitat sostenible, hemos considerado pertinente incluir una agenda de investigación y desarrollo y unas líneas y proyectos de investigación que aspiramos puedan contribuir a delinear políticas futuras de I&D en el campo del desarrollo tecnológico de la construcción.

Descriptores:

Construcción sostenible; Reducción de desperdicios;
Racionalidad energética; Construcción por la vía seca;
Producción masiva en pequeña escala.

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN. Vol. 21-I, 2005, pp. 15-30.
Recibido el 10/07/05 - Aceptado el 10/11/05

I Introducción

En el nuevo siglo que apenas comienza, los problemas ambientales y la calidad de vida en nuestras ciudades continúan deteriorándose severamente. En sociedades como las nuestras se debe pensar primero en resolver los urgentes y apremiantes problemas de hoy. Esa es indudablemente la prioridad pero buena parte de nuestros problemas actuales: la pobreza, el decaimiento de las ciudades, los barrios urbanos, son resultado de decisiones, acciones y, en buena medida, omisiones emprendidas generaciones atrás para resolver los problemas de aquel momento sin pensar demasiado en un mañana que ahora es nuestro.

Las modificaciones al medio ambiente natural deberían ser obligatoriamente gestionadas a partir de una estrategia de sostenibilidad, y esto significa que el desarrollo del medio ambiente construido, y sus modificaciones, deben ser planteados en términos de su pertinencia y viabilidad social, económica y ambiental con el fin de garantizar que las construcciones que se realicen hoy perduren para las generaciones futuras, de manera de compensar los daños irreversibles que puedan provocar las modificaciones al medio natural, no sólo por efecto de las nuevas construcciones, la urbanización precaria y por las actividades extractivas y la tala, sino por la contaminación ambiental con residuos, desechos, escombros y emanaciones generados por las actividades constructivas. Innovaciones tecnológicas y sociales juegan un papel primordial en el logro de la construcción de un hábitat sostenible y en la búsqueda de respuestas a algunos de los siguientes interrogantes:

- ¿Cómo enfocar de una manera sostenible —o sustentable— nuestro desarrollo urbano? ¿Habría que introducir cambios radicales en los enfoques de las variables del proyecto de urbanismo y de las edificaciones?
- ¿Cuáles son las bases ecológicas y éticas del diseño en la arquitectura y la ingeniería?
- ¿De qué manera se deberían reorientar la docencia y la práctica profesional para el logro de un hábitat sostenible?
- ¿Cómo garantizar que las innovaciones en materiales y tecnologías tengan viabilidad social, económica, ambiental y ética?

Las respuestas varían de una región o país a otro, puesto que las diferencias en términos de desarrollo económico y calidad de vida son muy marcadas. Sin embargo, en esencia se trata de lograr que las modificaciones al medio ambiente natural se realicen dentro de un concepto amplio de optimización en el uso de los recursos y de ecoeficiencia que garantice al mismo tiempo calidad, economía y durabilidad.

A lo largo de estas páginas se presentan algunas respuestas que se consideran pertinentes para los países subdesarrollados (en vías de desarrollo o de lento crecimiento), en lo que se pudiera definir como unas estrategias y una agenda para el logro de edificaciones sostenibles.

II Estrategias para un hábitat sostenible

Un conjunto de políticas de carácter nacional son necesarias para crear condiciones que permitan tomar acciones dirigidas a la búsqueda de una mayor sostenibilidad en los asentamientos humanos y en la construcción de los mismos, es decir, del hábitat entendido en su concepto más amplio. Algunas de esas políticas se plantean a continuación.

Descentralización y desconcentración

El Estado debe ser principalmente facilitador y no productor. No se deben imponer a las regiones y localidades las decisiones de dónde, cuándo, cómo y para quiénes se van a ejecutar las obras. Las decisiones deben estar basadas en el conocimiento de las necesidades reales locales. El protagonismo, en la gestión de su hábitat, debe ser de las comunidades. El Estado debe impulsar las iniciativas y el esfuerzo que realiza la gente, apoyando sus capacidades de resistencia o resiliencia.

Hay que reconocer que las comunidades organizadas tienen capacidad para resolver sus problemas de alojamiento, entre otros. Por ello se deben facilitar los procesos que ocurren en el ámbito local, apoyando a organizaciones de la comunidad y consorcios locales con asistencia técnica y financiera. Este proceso implica impulsar el Municipio, brindándole apoyo técnico y fortaleciendo sus capacidades fiscales y financieras. El Poder Nacional debe concentrarse en el establecimiento de las políticas y los planes nacionales, pero la ejecución de los programas debe ser transferida de manera progresiva a los gobiernos locales, es decir al Poder Municipal y a las comunidades organizadas (Cilento et al., 1992).

En el caso venezolano, las actuaciones urbanísticas del Estado se deberían concentrar en cuatro programas principales:

– grandes operaciones de habilitación de tierra intraurbana y/o en los bordes urbanos de las ciudades, en lugar de la promoción directa o indirecta de la construcción de viviendas-mercancías en programas dispersos en la periferia urbana;

- la rehabilitación de los barrios urbanos, con el fin primordial de reducir la infraurbanización, la vulnerabilidad y los riesgos, de manera de lograr una plena integración urbana de los distintos sectores de las ciudades;
- el mejoramiento sustancial de las condiciones de habitabilidad de la ciudad existente: barrios y centros tradicionales, zonas históricas, urbanizaciones públicas, zonas deterioradas, parques y otras áreas públicas;
- la organización de eficientes redes de vialidad y transporte urbanos que garanticen los desplazamientos consuetudinarios de la población, lo que también asegura mejores condiciones para su alojamiento.

De la misma manera que un gran proyecto industrial o la construcción de una gran central hidroeléctrica implica la realización de estudios precisos sobre los impactos ambientales, es imprescindible un cuidadoso estudio del ecosistema del lugar antes de la elección del emplazamiento de cualquier intervención urbana importante y de la operación masiva de desarrollo de tierras. Se deben evaluar los impactos, no sólo de las obras en sí, sino también de todas las actividades relacionadas con la extracción de materia prima y la producción de materiales y componentes.

Innovación en la normativa

El establecimiento de regulaciones y controles de carácter ambiental es una función propia del gobierno. En la Agenda 21 de la Conferencia de Río (UNCED, 1992) se señala que los apremiantes problemas del siglo XXI sólo pueden ser atacados a través de la cooperación internacional, y que su implantación exitosa es responsabilidad principal de los gobiernos, con la participación ciudadana y la contribución de organizaciones no gubernamentales. Los gobiernos deben asegurar que las políticas ambientales provean el marco legal e institucional para responder a nuevas necesidades para la protección del ambiente que puedan ser resultado de cambios en la producción y de especialización de los mercados. Sin embargo, el establecimiento de políticas y normas para conservar y proteger los recursos naturales no debe hacerse sin tomar en cuenta a quienes viven de esos recursos, porque de otra manera se podría estar estimulando el aumento de la pobreza y, en consecuencia, las perspectivas a largo plazo para la misma conservación de los recursos. En este sentido, se reconoce que la lucha contra la pobreza es una de las condiciones indispensables para alcanzar un desarrollo sostenible.

Ejemplos de regulaciones típicas son: las regulaciones para controlar la conversión de tierras agrícolas a uso urbano, como para el establecimiento de cinturones ver-

des alrededor de ciudades y pueblos, protección de zonas vulnerables a desastres y de ecología frágil, y evaluación obligatoria de los impactos de proyectos mayores; las regulaciones para reducir la extracción de materia prima, legislación para prohibir el bote de materiales que pudieran ser reciclados, así como directrices para establecer que una proporción de los materiales usados en todos los proyectos de construcción sean reciclados; estimular la adopción de estándares y otras medidas reguladoras que promuevan el aumento de la aplicación de diseños y tecnologías eficientes en su uso de energía, y la utilización de los recursos naturales de una forma económica y ambientalmente apropiada; promover la aplicación de impuestos u otro tipo de carga tributaria que des-estimulen la utilización de materiales de construcción que generen contaminación durante su ciclo de vida (UNCHS, 1993; UNCED, 1992).

La estrategia de innovación debe buscar el desarrollo de una normativa, flexible y estimulante, basada en el comportamiento o desempeño (*performance*) de materiales, componentes e instalaciones, evaluada desde el punto de vista técnico, económico, social y ambiental, en contraste con las tradicionales normas de construcción de carácter prescriptivo, que señalan específicamente la forma y técnica como deben ejecutarse las obras, lo que constituye un fuerte impedimento a la innovación y al cambio técnico, además de no propiciar una adecuada medición de la calidad y el confort en las edificaciones (ver: IDEC/IU/UCV, 2002).

Debería establecerse también una normativa específica referida a la "gestión de residuos" que incluya el bote de escombros en partidas separadas en los presupuestos de las obras. Una normativa de este tipo debería permitir la identificación y clasificación de los residuos según su origen. El catálogo europeo clasifica los residuos en: metales; asfalto, alquitrán y productos alquitranados; hormigones, ladrillos, tejas y materiales cerámicos; materiales de aislamiento; residuos mezclados; tierra y varios. La identificación y cuantificación de los residuos de cada obra pudiera realizarse con una clasificación similar.

Investigación y desarrollo

Los programas de investigación y desarrollo (I&D) en el campo industrial y de la construcción deberían orientarse bajo las premisas del desarrollo sostenible entre las cuales destacan:

- 1) I&D en nuevas técnicas que utilicen residuos y desechos provenientes de las actividades agrícolas y agroindustriales, mineras, de la industria manufacturera y de la propia construcción;

- 2) I&D para la producción local de materiales de construcción utilizando recursos locales o regionales, así como para el mejoramiento de las características técnicas de materiales tradicionales o autóctonos;
- 3) I&D en los campos de ahorro energético en todas las fases del ciclo de vida de materiales, componente y obras de construcción, igualmente en lo relativo al ahorro en el consumo de agua;
- 4) I&D sobre las propiedades y el comportamiento de materiales de baja energía incorporada para estimular su especificación (uso) por parte de proyectistas y constructores;
- 5) I&D en técnicas que mejoren la eficiencia energética de las edificaciones mediante el uso de medios pasivos que propicien la eliminación de ventilación mecánica y aire acondicionado;
- 6) I&D de nuevas normas de comportamiento para la producción y utilización de nuevos materiales y productos de construcción bajo parámetros de sostenibilidad;
- 7) hacer accesible más información y conocimientos sobre sostenibilidad de la construcción, mediante campañas, proyectos de demostración, programas experimentales, concursos de mejores prácticas y similares;
- 8) revisar las normas de construcción, especificaciones y códigos de práctica de manera de permitir y estimular el uso de materiales de baja energía incorporada; y
- 9) profundizar los mecanismos de transferencia de conocimientos, información e innovaciones entre el sector educativo y el sector productivo.

Apoyo a las comunidades organizadas

Hay que identificar la vocación productiva de las regiones y localidades, y la "identificación de lo específico [...] en cada rincón del territorio" (Pérez, 1999). Y hay que asignar prioridad al uso y el refuerzo de las capacidades y recursos locales: materiales, productos y técnicas, lo que permite una mejor adaptación de las propuestas a las condiciones geoambientales, así como el respeto a los factores culturales y tradiciones, locales y regionales. La descentralización de la ejecución de los proyectos de construcción de alojamientos hacia el ámbito municipal y las comunidades implica la participación de la gente en la construcción y el mantenimiento de su hábitat, para lo cual es necesario desarrollar enfoques de proyecto-construcción que permitan su participación efectiva. Los programas de urbanismo y construcción de desarrollo progresivo, con asistencia técnica, son una vía para integrar a las comunidades organizadas a la producción y cuidado de su entorno habitable y para el logro de un hábitat sostenible.

El desarrollo de programas de asistencia técnica en el ámbito local es fundamental para mejorar la construcción que ejecutan pequeños constructores y la propia gente. En los países más atrasados, más del 50% de la construcción que se ejecuta la realizan microempresarios, "maestros de obra" y obreros especializados que trabajan por cuenta propia y, por supuesto, la propia gente sin las experticias adecuadas, lo que contribuye a incrementar la vulnerabilidad urbana, los riesgos y el desperdicio de recursos. Mejorar las prácticas constructivas convencionales, tradicionales y populares, implica un importante esfuerzo de capacitación y asistencia en el ámbito local, cuyo objetivo es mejorar la seguridad y la calidad de la construcción que realmente ejecuta la gente.

III Estrategias para la sostenibilidad de la construcción y las edificaciones

En cualquier innovación o proceso de desarrollo tecnológico en la construcción se deben evaluar los posibles impactos ambientales de las distintas actividades envueltas durante todo el ciclo de vida de la edificación u obra construida. Los impactos sobre el medio ambiente consisten, por una parte, en los producidos por la extracción de recursos y, por la otra, aquellos generados por los desechos y el bote o vertido al medio ambiente; es decir, por lo que tomamos del planeta y por lo que arrojamos a él. En el primer caso el impacto ambiental puede ocurrir por la extracción de recursos naturales y materia prima y por el consumo energético. En el segundo caso, el impacto se debe a la contaminación, toxicidad y generación de residuos. Cada categoría de impacto ambiental tiene efectos variados sobre el medio natural y sobre el medio modificado que, para garantizar asentamientos humanos sostenibles y actividades sostenibles durante su construcción, deben constituir exigencias incluidas en los instrumentos legales, normativos y técnicos, y formar parte de los códigos de práctica y ética profesional.

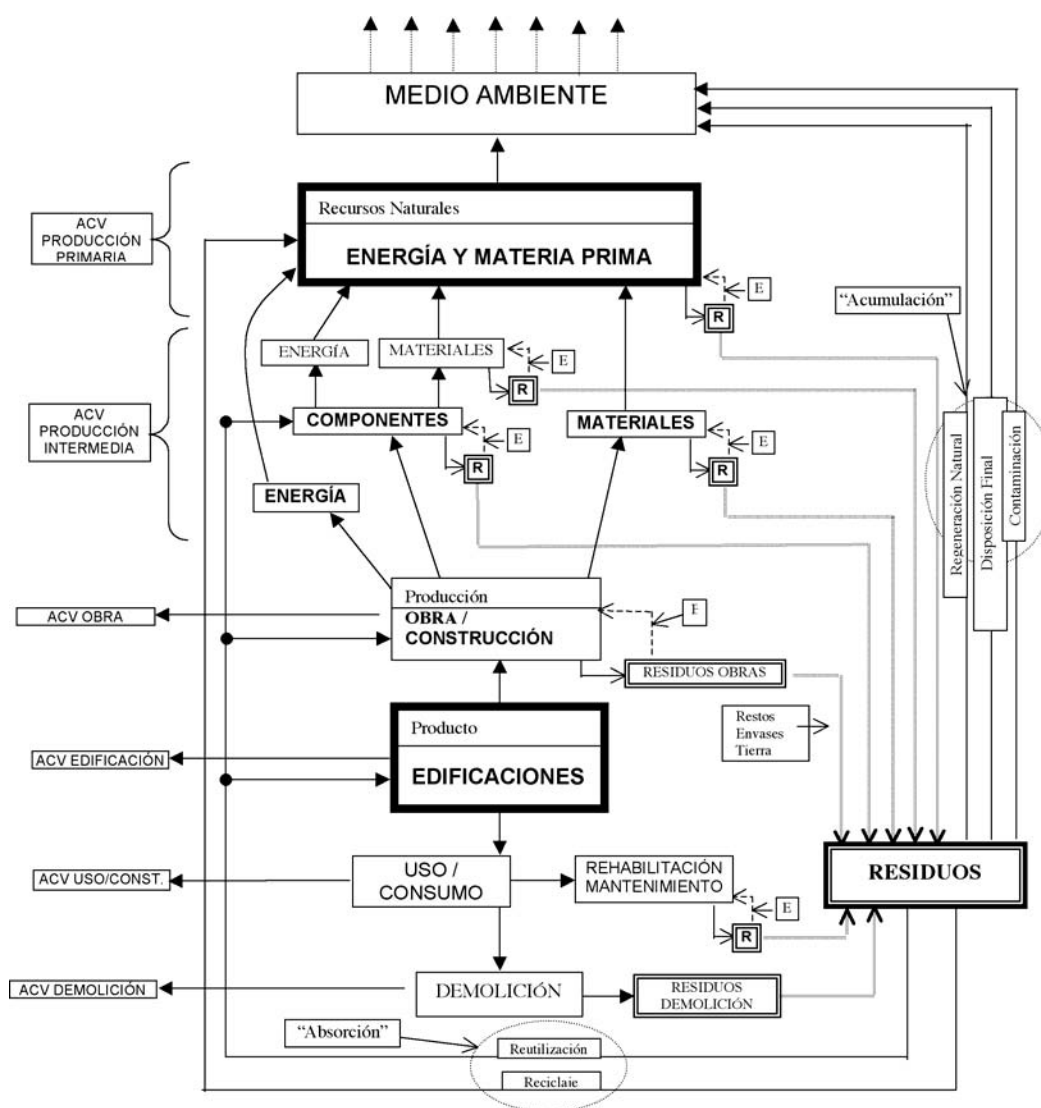
El análisis del ciclo de vida de la construcción (ACV) (ver: Cilento, 2005; Acosta, 2002a y 2002b; Chevalier et al., 1994; Fullana y Puig, 1997) proporciona un marco conceptual y herramientas para identificar y evaluar el impacto ambiental de las actividades productivas y plantear estrategias para mitigar o eliminar dicho impacto. Permite además entender el proceso de producción como un sistema compuesto por subprocesos económicos, tecnológicos y ambientales que van desde la extracción de recursos hasta el reciclaje o disposición final de desechos (ver diagrama 1). El ACV es así mismo una

técnica que nos permite identificar y cuantificar los procesos ambientales, las entradas y salidas de materia y energía, y los impactos ambientales potenciales: “El ACV puede verse como una herramienta para obtener información ambiental objetiva [o] como un concepto, una manera de «ver» y «afrentar» la interacción entre los sistemas tecnológicos y el medio ambiente para poder tomar decisiones correctas sobre una determinada situación” (Fullana y Puig, 1997, p. 19). En este sentido, el ACV puede ayudar en la identificación de correctivos, y el establecimiento de caminos y estrategias tendientes a disminuir el

impacto ambiental de la construcción, contribuir a mejorar el medio ambiente y, en definitiva, para evolucionar hacia un hábitat sostenible y una mejor calidad de vida.

A continuación se presenta un conjunto de estrategias para la sostenibilidad y ecoeficiencia de la construcción y las edificaciones (ver Acosta, 2002). El árbol, en el diagrama 2, agrupa dichas estrategias en seis categorías que apuntan directamente a la minimización de los impactos ambientales de la construcción y a contribuir a la mejora y recuperación del medio ambiente con un enfoque múltiple, en el aspecto tecnológico, social, económico y

Diagrama 1
Rastreo hacia atrás y hacia delante de las etapas en el CV de una edificación.



Leyenda:

- Residuos (R) producidos en el proceso y energía (E) empleada para su reciclaje
- Flujo hacia delante o hacia atrás en el CV de la edificación
- Flujo del transporte de residuos (Incluye la energía empleada)

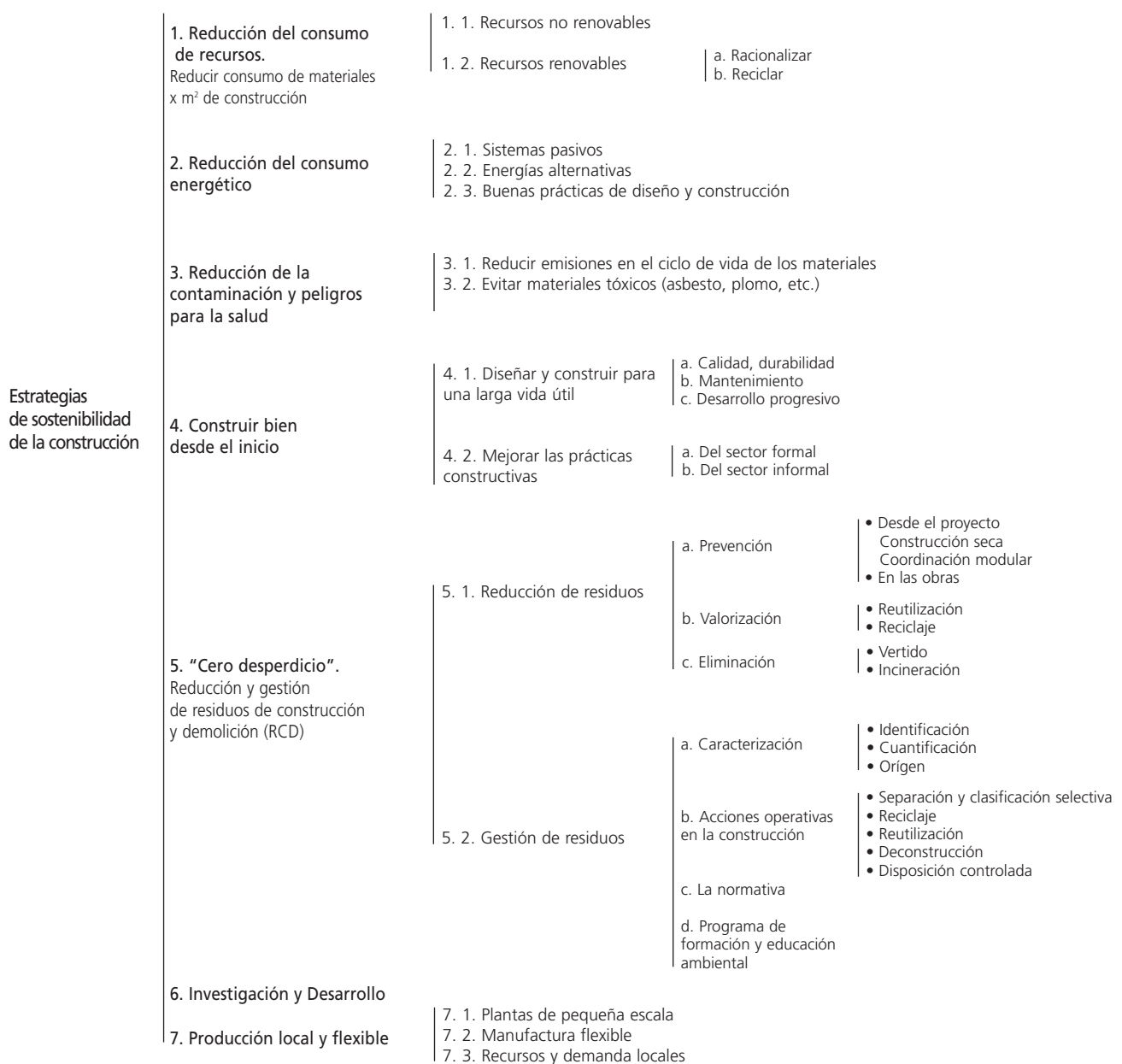
Fuente: Elaboración propia; *Tecnología y Construcción* 18-II, p 50.

ecológico. Esas estrategias son: la reducción del consumo de recursos; la eficiencia energética; la reducción de la contaminación y toxicidad; el enfoque de “construir bien desde el inicio”; el de construir bajo la premisa de “cero desperdicio”, y la orientación hacia la producción local y flexible. Como se podrá notar en el texto, las estrategias tienen muchos contactos entre sí, dado el carácter multifactorial del concepto de sostenibilidad.

Reducción del consumo de recursos

La promoción de la reducción del consumo de materia prima proveniente de recursos no renovables, a fin de atenuar los efectos de la extracción sobre el medio ambiente natural, implica un mayor uso de materiales provenientes de recursos renovables y de procesos de reutilización o reciclado¹. El concepto de *sincretismo tecnológico*

Diagrama 2
Estrategias de Sostenibilidad de las edificaciones



Fuente: *Tecnología y Construcción* 19-II.

(Cilento, 1996) plantea la necesidad de una apropiada combinación entre técnicas, materiales y componentes provenientes de la gran industria —usualmente de alta energía incorporada—, y técnicas y materiales autóctonos de bajo consumo energético y bajo poder contaminante, o materiales biodegradables que puedan ser asimilados por los ecosistemas o las mismas edificaciones, con el uso de materiales provenientes de procesos de reciclado o componentes reutilizados. Lo que se busca es lograr un balance adecuado entre las características ambientales y culturales, las necesidades de seguridad y confort, y la reducción de la energía incorporada en materiales, componentes, productos y procesos. Carlota Pérez (1999, p. 17), quien introduce la idea de un “nuevo paradigma tecno-económico” basado en el conocimiento y la información, describe esta estrategia como la de “producir más utilizando menos materia prima y más «materia gris»”.

Esta estrategia estaría inscrita en la idea de *desmaterialización* de los procesos, es decir, la reducción del consumo de materiales por metro cuadrado de construcción enfocada no sólo en la reducción del uso de recursos vírgenes sino en un esfuerzo hacia la reutilización, el reciclaje y la remanufactura, que son pasos importantes para cerrar el ciclo de los materiales. Adicionalmente, la desenergización, la des-carbonización y la des-toxificación del sistema industrial pueden acompañar a la des-materialización, si se pretenden recuperar significativos recursos y beneficios ecológicos (Kibert et al., 2000).

Reducir el consumo de materiales implica también disminuir el peso de las edificaciones por metro cuadrado de construcción aplicando técnicas innovadoras que mejoren a su vez el rendimiento y la seguridad de la construcción convencional. Esto es particularmente pertinente en nuestras zonas urbanas, donde la vulnerabilidad ante eventos sísmicos es notoria dadas las características de la construcción de la mayoría de nuestros asentamientos informales. Es el caso de las construcciones de mampostería de las zonas de barrios las cuales, debido a la ausencia de una normativa nacional y a malas prácticas constructivas, configuran un escenario preocupante con relación a su capacidad sismo-resistente (ver: Acosta et al., 2005a).

La asignación de recursos para la investigación y desarrollo de sistemas de servicios en circuito cerrado, basados en la reutilización y el reciclaje, es una acción clave para introducir innovaciones sostenibles en la construcción. La posibilidad de desarrollar sistemas y tecnologías que reduzcan sustancialmente la extracción de materias primas de los ecosistemas naturales, que reutilicen y reciclen todos los residuos y desechos de la cons-

trucción y de otros procesos productivos, es una meta que debería estar presente en todos los esfuerzos destinados a racionalizar ambientalmente el funcionamiento del sector construcción.

La reducción —optimización— del consumo de materiales por metro cuadrado de construcción es un factor clave, porque el sobredimensionado y el desperdicio, que son característicos de las formas más atrasadas de construcción, constituyen no sólo un factor de incremento de costos sino de uso irracional de los recursos, e importante factor de generación de contaminación ambiental.

El espacio urbano, la tierra urbanizada disponible para desarrollar, también es un recurso escaso y debe ser gestionado con criterios sostenibles (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 1997, p. 18). En relación con el problema de la creciente precariedad de la vivienda en el contexto de la “*explosión urbana*” ya en 1965 Leopoldo Martínez Olavarría apuntaba: “Esta tendencia [...] sólo puede ser contrastada mediante una política firme de localización geográfica de la población, en función de un plan integral de desarrollo y la ejecución de un vasto plan de desarrollo urbano que signifique la dotación de los servicios básicos de cada poblado” (Martínez Olavarría, 1965). Es interesante constatar cómo hoy en día estos principios continúan vigentes.

Por otra parte, en los espacios que puedan ser rehabilitados se debe dar prioridad al “reciclaje urbano” antes que a la continua ocupación de los perímetros de las ciudades o, peor aún, a la construcción de nuevas ciudades en lugares de difícil acceso y escasas o inexistentes fuentes de trabajo.

Eficiencia y racionalidad energética

En la manufactura de materiales y componentes constructivos, las estrategias de ahorro energético deberían incluir acciones relacionadas con los procesos que utilizan hornos con el fin de incrementar la eficiencia energética y reemplazar los procesos ineficientes, evaluando la posibilidad de sustituir por combustibles menos costosos, incluso el uso de residuos y desechos en el quemado de ladrillos, bloques y en la fabricación de cemento; también el reciclaje de chatarra de hierro y acero, y el uso de vidrio reciclado al igual que el uso de aditivos de baja energía como los materiales puzolánicos en la producción de cemento (Águila, 2001). Otro enfoque clave es el de mejorar energéticamente y reducir la masa o volumen de los materiales por área construida, incrementando los de bajo consumo energético, como sustituir

ladrillos macizos por ladrillos o bloques huecos (ver: Acosta, 2000). Por el lado de la normativa, se requiere auditar todos los procesos, sustituir plantas ineficientes y mejorar el mantenimiento, con el fin de reducir el consumo de energía (UNCHS, 1993).

Además de la reducción asociada a la producción local en pequeña escala y el uso de recursos locales, otros factores claves inciden sobre el consumo energético de las construcciones. Por ello es importante promover el desarrollo y la adopción de sistemas pasivos de ventilación, sistemas y recursos energéticos ecológicos como energía solar y energía eólica, que son también requerimientos derivados de la necesidad de reducción de la energía incorporada y de los costos de construcción y mantenimiento, así como de las exigencias humanas de habitabilidad y confort en las edificaciones.

Igualmente, los cerramientos exteriores, cubiertas y ventanería deben ser compatibilizados con las condiciones geoambientales locales, a fin de reducir el consumo de energía y garantizar confort a los usuarios. Una de las fallas generalizadas del diseño de las edificaciones, producto de la banalización de la arquitectura, es la adopción de soluciones comerciales internacionales de otras latitudes para la envolvente externa de las edificaciones, menospreciando consideraciones fundamentales acerca del comportamiento ambiental de los cerramientos, un adecuado diseño de las ventanas, la adaptación de la techumbre a las condiciones climáticas locales, el uso de aleros y de protección solar, el ahorro de energía y la medición del confort de los usuarios. Esto nos llevaría también al concepto de ecoeficiencia en el diseño.

Otro factor de sostenibilidad que contribuye a la racionalidad energética es el de diseñar bajo el concepto de alta densidad con baja altura, utilizando edificaciones bajas sin ascensores donde quiera que la situación lo permita. La selección de sistemas constructivos o estructurales de bajo consumo energético debe apoyarse además en el concepto de sincretismo tecnológico para garantizar una apropiada combinación de materiales y componentes de bajo consumo energético de producción local, y de los componentes industrializados imprescindibles de mayor energía incorporada.

Reducción de la contaminación y toxicidad

Ya desde la etapa de proyecto se debe, y se puede, prever la magnitud de la producción de desechos contaminantes que la actividad de la construcción y la edificación misma producirán. Se deben identificar y cuantificar las emisiones y los productos de todo tipo que se generan,

evaluar la trascendencia de su impacto, y determinar qué medidas se deben y pueden tomar para mitigarlo en todo el ciclo de vida del material, componente, proceso o edificación en estudio (Yeang, 1999, pp. 142-145).

La reducción o eliminación de las emisiones en su origen es quizás la estrategia más deseable para reducir la contaminación. Por ejemplo, aumentar la eficiencia energética en el uso de las edificaciones y diseñar procesos que disminuyan la energía incorporada en los materiales y componentes pudiera tener un impacto significativo en la reducción de las emisiones de CO₂ que alcanzan una proporción muy alta de las emisiones totales en los países desarrollados².

Otra estrategia es la de planificar la gestión de las emisiones contaminantes una vez generadas, a través de su tratamiento (filtros, tratamientos químicos), de su descarga controlada al medio natural (incineración, dispersión), o de su recuperación (reutilización o reciclaje).

Por otra parte, deben evitarse los materiales que representan un peligro para la salud. Por ejemplo, el plomo es cada vez menos utilizado en la construcción, caso de las tuberías para instalaciones sanitarias donde el "emplomado" fue primero sustituido por juntas mecánicas flexibles y luego la tubería de PVC ha venido a sustituir a la de hierro negro. Sin embargo, el PVC puede ser tóxico si se inhalan partículas volatilizadas, aunque si el ambiente está bien ventilado el riesgo disminuye notablemente (Programa LIFE, 1997). El uso del asbesto debería ser eliminado totalmente tanto en la producción de materiales como en otros componentes constructivos, y en la protección contra el fuego de estructuras metálicas. Otro ejemplo es el de los productos, para tratamiento, acabado y protección de la madera, en especial en estructuras, cerramientos, ventanería y todas las partes expuestas a la intemperie. Estos productos son generalmente tóxicos, pero se requieren para mejorar el comportamiento y la durabilidad de componentes estructurales y no estructurales de madera.

Construir bien desde el inicio

El concepto de "construir bien desde el inicio" (Carter, 1995), significa construir bien desde la fase de diseño, cuando se toman decisiones claves para la construcción de la edificación. Se trata de *diseñar y construir para una larga vida útil* (Cilento, 1998) es decir, construir con calidad y durabilidad anticipando la transformabilidad y la reutilización de las edificaciones, su uso multifuncional que permita reformas y cambios en el uso de la edificación, sin grandes demoliciones y modificaciones

estructurales. El mismo criterio debe aplicarse a las grandes actuaciones urbanísticas y de infraestructuras mencionadas más arriba: “Las infraestructuras de la sostenibilidad seguramente serán elementos ligeros y fácilmente reconvertibles, capaces de digerir las mutaciones de la demanda [...], [y] se caracterizarán por su versatilidad funcional, es decir, por su capacidad, intrínsecamente asociada a su concepción y diseño, para irse adecuando a las variaciones que la complejidad socioeconómica del nuevo paradigma traerá consigo” (Folch, 1998, p. 150).

La presión por la cantidad, antes que por la calidad, y las mediocres respuestas en el diseño —especialmente en las construcciones llamadas de interés social—, así como la búsqueda improvisada e irreflexiva de la reducción de costos, han hecho “desechables” muchas de las obras construidas tanto por el sector público como por promotores mercantiles en los países más atrasados. Un objetivo de sostenibilidad de la construcción, de importancia crucial, es el de construir con más calidad a menor costo. Esto implica también restituir los valores éticos asociados a un ejercicio profesional responsable.

Se debe además *diseñar para un fácil funcionamiento y mantenimiento* (Cilento, 1998), facilitando con el proyecto las acciones para preservar las edificaciones, así como planificando la accesibilidad a las instalaciones y servicios, evitando empotrar o embonar las tuberías y ductos y planificando estrategias de distribución y accesibilidad a las instalaciones para evitar roturas en caso de reparación y mantenimiento.

Un factor clave de sostenibilidad es el de diseñar para el desarrollo progresivo, la transformabilidad y la reutilización. En una realidad donde lo más permanente es el cambio, los arquitectos no pueden seguir diseñando edificaciones de consumo masivo como obras arquitectónicas inmodificables. El desarrollo progresivo es una condición necesaria para garantizar más calidad, adaptabilidad y una mejor utilización de recursos escasos. Diseñar para la transformación sin perder la calidad de los espacios y la estética de la edificación es también una condición necesaria para garantizar calidad, confort y menores costos de adaptación al cambio, e incluso mayor durabilidad. En realidad, la durabilidad está asociada tanto al mantenimiento como a la capacidad de transformación de la edificación. Lo anterior, así como la reutilización racional de las edificaciones existentes, son todos imperativos de la necesidad de garantizar actividades sostenibles en la construcción.

Una acotación es necesaria en relación con el concepto de *desarrollo progresivo* (ver Cilento, 2002). No se trata de la vieja idea de viviendas ampliables o de vivien-

da básica. Cuando se habla de desarrollo progresivo se trata, en el caso de la vivienda, de un proceso y no de un producto. Se trata del proceso mediante el cual, a partir de una construcción inicial (protovivienda) los ocupantes construyen en forma progresiva los espacios requeridos, según sus necesidades y expectativas, y al mismo tiempo van mejorando también en forma progresiva la calidad total de la edificación. La mayor implicación no está entonces en el diseño, que será producto de decisiones de los ocupantes, sino en los materiales, componentes y técnicas constructivas que faciliten ese proceso de crecimiento y mejoramiento de calidad. En este proceso, la asistencia técnica a las familias es una condición *sine qua non*.

Construir bajo la premisa de “cero desperdicio”

Como otras acciones ya mencionadas, un diseño consciente y eficiente y buenas prácticas constructivas son condición indispensable para reducir el consumo de energía, eliminar los residuos y desechos característicos del descuido en el diseño de los procesos productivos, y para la reducción drástica de los desperdicios que son producto de falta de consideración técnica del proceso de construcción. Aquí también priva la inescrupulosa idea de que los desperdicios originados por las malas prácticas o el descuido, en cualquier caso, no los paga ni el diseñador ni el constructor, sino el cliente o el usuario.

La individualidad y larga vida de las edificaciones implica dificultades cuando se plantea cerrar el ciclo de vida de los materiales y obras para reciclar los desperdicios:

- a) las edificaciones no son diseñadas o construidas para ser eventualmente desensambladas o *deconstruidas*;
- b) los materiales y componentes constructivos tampoco lo son; y
- c) los materiales y componentes utilizados suelen ser materiales compuestos o acoplados, unidos con morteros y pegas, lo que dificulta severamente el reciclado e incluso su reutilización. Por ello la dificultad de desarrollar el concepto de cero desperdicio con los métodos tradicionales de construcción o con los sistemas industrializados con base en concreto.

Por tales razones el resultado de un enfoque sostenible se debería traducir en un conjunto de propuestas de minimización de residuos desde el proyecto entre las cuales destacan:

- mejorar el mantenimiento y la durabilidad del edificio, reduciendo con ello los residuos generados por su demolición y nueva construcción;
- favorecer con los criterios de deconstrucción la demolición de las edificaciones al final de su vida útil;

- optimizar las soluciones constructivas reduciendo la cantidad de material necesario para ejecutar el edificio;
- aplicar soluciones tecnológicas eficientes en la generación de residuos; y
- reutilizar/reciclar los residuos generados en la propia construcción (ver Huete, 1998).

Una forma de accionar esos dispositivos es la incorporación de técnicas de *construcción por la vía seca*, es decir, la que se realiza evitando en lo posible la unión de elementos a través de la adherencia superficial, como ocurre al aplicar morteros, pegas y soldadura, con el objetivo último de garantizar la *deconstrucción*, la recuperación y la reutilización de componentes, las readaptaciones y el desarrollo progresivo de las edificaciones. Se trata de la adopción de componentes y formas de construcción y de unión entre componentes de las edificaciones a través, por ejemplo, de tornillos, remaches y uniones a presión, de manera que permitan la posibilidad de desensamblar en lugar de demoler, facilitando la recuperación de materiales y componentes en lugar de generar desechos y escombros. Facilitar las transformaciones y el rediseño interior, así como el desarrollo progresivo de las edificaciones, implica también un acercamiento al objetivo de desarrollar sistemas en circuito cerrado que minimicen la afectación de los ecosistemas naturales, e incluso la de los modificados.

Por otra parte, la *coordinación modular y dimensional* puede jugar un enorme papel en la disminución de la generación de residuos. Aplicando criterios modulares y dimensionales desde el proyecto, los materiales y componentes pueden llegar a la obra y ser instalados sin modificaciones en sus dimensiones, evitando así cortes y roturas que generan desperdicios. Los criterios de estandarización y prefabricación pueden hoy en día tener un importante rol para contribuir a la disminución de residuos de la construcción, más allá de la eficiencia productiva y la reducción de costos tradicionalmente asociadas a dichos criterios.

Por todo lo anterior, el concepto de cero desperdicio implica: a) *prevención* (diseño preventivo), es decir, reducción del desperdicio desde el origen, en la fase de diseño, aplicando criterios de normalización y coordinación modular; b) *valorización*, la *recuperación y reincorporación* de los residuos al ciclo productivo como elementos a ser reutilizados en la construcción o como materia prima reciclada, bajo la forma de *reutilización y reciclaje*; y c) *eliminación* ambientalmente compatible, es decir, el vertido de los residuos finales e incineración (si es el caso) legal y controlado (ver Acosta, 2002a).

Producción local y manufactura flexible

En el caso de la producción de viviendas, una vieja discusión remite a la escala de producción y la producción masiva. La idea de producción en gran escala se asoció a la producción masiva y a las grandes plantas de prefabricación surgidas en la segunda posguerra. Los resultados, si bien cubrieron una necesidad perentoria —la destrucción generada por la guerra—, a la larga fueron un fracaso desde el punto de vista social, ambiental y urbano; de hecho, las grandes plantas de prefabricación prácticamente desaparecieron y muchos de los conjuntos construidos han venido siendo demolidos.

Sin embargo, se puede alcanzar la producción de viviendas en gran escala a través de múltiples operaciones de pequeña escala y no sólo de procesos continuos y largas series de producción. Las estrategias de descentralización conducen a un incremento de las demandas locales y a calificar la demanda en función de recursos que se puedan obtener localmente. El resultado es la necesidad de producción versátil en pequeña escala, lo que tiene implicaciones adicionales con el ahorro de energía, la preservación del medio y el reciclaje de residuos de procesos agrícolas, industriales y de la propia construcción, que se encuentran o que pueden ser encontrados localmente.

Lo anterior está asociado a la capacidad innovadora de la pequeña empresa y a su disposición para incorporar tecnología y conocimientos de forma progresiva, lo que se dificulta en las grandes empresas por la inercia administrativa que implica el manejo de grandes volúmenes de negocios, y la burocratización creciente que genera la necesidad de una reproducción ampliada de las operaciones (Cilento, 1998). La instalación de pequeñas y medianas empresas en el ámbito local, que aprovechen recursos y potencialidades regionales y locales, reduce el consumo y los gastos del transporte, con evidentes efectos en la reducción de gastos de capital, de consumo energético y de los niveles de contaminación ambiental.

IV Una agenda para la sostenibilidad de las edificaciones

La obligación de atender e intentar resolver los problemas que afectan la calidad de vida de los actuales habitantes del planeta sin comprometer la posibilidad de que las futuras generaciones puedan disponer de recursos para resolver los suyos, es una referencia directa a la modificación del medio ambiente natural, actividad pro-

pia de los arquitectos e ingenieros, y señala la característica fundamental del concepto de sostenibilidad: es un enfoque de carácter multifocal que implica aspectos tecnológicos, políticos, sociales, económicos, ecológicos y éticos. Esto quiere decir que no basta con proyectar edificaciones respetuosas del ambiente, sino que es necesario considerar el conjunto de los aspectos para que la naturaleza múltiple de la sostenibilidad pueda ser reconocida. El tema es complejo pero las exigencias actuales, vinculadas a los fenómenos ambientales globales y al interés que ellos suscitan en las naciones y pueblos, así como la creciente vulnerabilidad de los grandes centros urbanos, hace perentorio abordar el asunto con seriedad científica y técnica.

La Agenda de I&D que se propone a continuación define las características que se aspira detenten las edificaciones, particularmente viviendas, para el logro de una mayor sostenibilidad o ecoeficiencia. Es decir, la concepción de edificaciones:

1. Cuya implantación se efectúe en terrenos con suelos apropiados y que hayan sido evaluadas considerando su vocación, los impactos ambientales y el ecosistema del lugar.

2. Agrupadas en conjuntos de baja altura, con densidades medias y altas, que eliminen o minimicen el uso de ascensores a fin de optimizar el consumo energético y minimizar los gastos de mantenimiento y reposición.

3. Que garanticen la seguridad de bienes y personas, en términos de su comportamiento estructural y frente a las amenazas naturales o de origen antrópico. Es decir, concebir edificaciones de muy baja vulnerabilidad.

4. Cuyo metabolismo sea muy lento debido a su uso multifuncional, durabilidad, adaptabilidad y transformabilidad; es decir, que su vida útil pueda ser prolongada y actualizada, incluso para nuevos usos.

5. Que sean fácilmente “*deconstruibles*” o puedan ser desensambladas; es decir, cuyos componentes puedan ser desacoplados de la edificación, reemplazados con facilidad y reutilizados con pequeños ajustes y retoques, lo que implica el concepto de “*construcción por la vía seca*”.

6. Que utilicen productos y componentes concebidos y diseñados para su posterior reciclaje, y cuyos materiales estructurales de masa, es decir, los no “*deconstruibles*”, puedan ser también reciclados.

7. Que sean proyectadas en función de evitar o reducir al mínimo el desperdicio de materiales y energía mediante el uso de la normalización, la coordinación dimensional y la simplificación-reducción de materiales y productos.

8. Que sean diseñadas para ser construidas de manera progresiva, es decir, que se puedan ampliar, modificar y mejorar su calidad y confort a lo largo de su vida útil. Y en las que se utilicen materiales y componentes que también sean capaces de mejorar su calidad y comportamiento de manera progresiva.

9. En las que los materiales y el diseño de la interfase con el exterior, es decir, los cerramientos exteriores, ventanería, protección solar, cubiertas, patios, corredores y aleros sean compatibles con los factores ambientales locales, a fin de contribuir a la racionalidad energética.

10. En las que los procesos productivos, en todas sus fases, tengan una alta eficiencia energética; igualmente durante la fase de operación y uso, salvaguardando las exigencias de confort de los usuarios.

11. Que en las fases de producción, construcción y durante su uso no produzcan ningún tipo de emisiones o residuos peligrosos o contaminantes. En las que no se usen materiales calificados como nocivos para la salud.

12. Que puedan ser producidas en plantas de pequeña escala (y no en procesos continuos y largas series de producción), que permitan aprovechar al máximo los recursos y potencialidades locales. Esto implica aceptar también la premisa de anteponer la calidad a la cantidad.

13. Que utilicen con eficiencia los recursos y las técnicas disponibles localmente, es decir, que puedan combinar de manera sincrética óptima, materiales y componentes de producción industrial y de alta energía incorporada con los de origen local de baja energía incorporada, derivados de recursos naturales renovables.

14. Que respondan con acierto a las condiciones ambientales, económicas y a los valores culturales e históricos locales.

15. Que promuevan la salud y el confort de sus ocupantes, y un entorno estética y ambientalmente grato.

Conclusiones

En este trabajo se ha asumido el concepto de desarrollo sostenible como norte de la búsqueda de soluciones a las apremiantes necesidades de nuestras sociedades y como referencia ética para anticipar las consecuencias futuras de nuestra intervención en el ambiente y de nuestras innovaciones en la sociedad, la economía y la ecología. Se ha señalado que la meta debe ser procurar no comprometer a las futuras generaciones la posibilidad de solucionar sus propios problemas es

decir, procurar resolver los urgentes problemas de hoy sin dejar de pensar en el mañana.

Con este fin fueron presentados un conjunto de políticas y estrategias así como una agenda para la sostenibilidad de la construcción y de las edificaciones. Se plantearon políticas de carácter nacional, entre las destacan la necesaria descentralización y desconcentración donde el Estado sea un ente que facilite más que uno que ocupe los espacios políticos y productivos regionales, locales y comunitarios, y que además sea un promotor de urbanismos y servicios más que un constructor de edificaciones y viviendas. La innovación en la normativa se introdujo como una manera de asegurar que los gobiernos provean el marco institucional para la protección del ambiente, tomando en cuenta la lucha contra la pobreza como principal meta; la normativa así mismo debe ser flexible y estimulante, factible de ser cumplida por los agentes involucrados.

Por su parte, las actividades de investigación y desarrollo deben ser orientadas como política nacional bajo la óptica del desarrollo sostenible, promoviendo proyectos de aprovechamiento de residuos, utilización de recursos locales, ahorro energético, revisión de normas obsoletas y difusión y transferencia de las innovaciones derivadas de los proyectos de I&D. Finalmente, se planteó como política nacional el apoyo a las comunidades organizadas con el objeto de aprovechar las capacidades locales y lo específico de cada región en lo cultural y ambiental, incluyendo el desarrollo de programas de asistencia técnica a las comunidades en la autogestión de la construcción.

Se presentaron a continuación seis estrategias específicas para la sostenibilidad de la construcción y las edificaciones, enfatizando que cualquier innovación debe evaluar el posible impacto ambiental de su aplicación en lo referente a la extracción de recursos y energía así como en la contaminación y generación de residuos. Dichas estrategias son:

1. Reducción del consumo de recursos;
2. Eficiencia y racionalidad energética,
3. Reducción de la contaminación y toxicidad,
4. Construir bien desde el inicio,
5. Cero desperdicio, y
6. Producción local y flexible.

Todas estas estrategias apuntan a la minimización de lo que tomamos del planeta y de lo que arrojamos a él. Se planteó que la disminución del consumo de recursos exige intentar cerrar el ciclo de los materiales a través de un mayor uso de recursos renovables, y de reciclar o,

mejor aún, reutilizar todos los desechos; implica igualmente reducir el consumo de materiales y el peso por metro cuadrado de las edificaciones. La eficiencia energética exige por su parte disminuir el consumo durante todo el ciclo de vida de las construcciones, muy especialmente durante su uso, aspecto que puede estar directamente en manos de los proyectistas aplicando soluciones pasivas de acondicionamiento ambiental. Otra estrategia es la reducción de la contaminación y toxicidad, impacto que puede ser previsto desde el proyecto, reduciendo o eliminando emisiones desde su origen o, si no queda más remedio, una vez generadas; se trata así mismo de no utilizar materiales que representen un peligro para la salud humana. Se planteó también la estrategia de "construir bien desde el inicio", para una larga vida útil, con calidad y durabilidad, previendo la transformabilidad y progresividad de las edificaciones. La estrategia de "cero desperdicio" es un ideal a alcanzar en la búsqueda de reducir a su mínima expresión los residuos que se generan en el ciclo de vida de la construcción, utilizando criterios como el de deconstrucción, coordinación dimensional, construcción seca, y aplicando los principios de prevención, valorización y eliminación compatible ambientalmente. Por último, se propuso la producción local y flexible como fórmula para estimular la producción versátil, masiva, a través de múltiples operaciones de pequeña escala que aprovechen los recursos locales con el consecuente ahorro de energía y materiales.

Líneas y proyectos de investigación a partir de las estrategias

A partir de las políticas y estrategias para edificaciones sostenibles aquí planteadas, se pueden derivar y proponer líneas de investigación y desarrollo de amplia trascendencia. De hecho, en el IDEC desde hace algunos años se vienen desarrollando investigaciones en el marco de dichas estrategias. Sin pretender ser exhaustivos, a continuación se presentan algunos ejemplos de los trabajos desarrollados y algunas líneas de investigación que pudieran plantearse.

1. Con respecto a la "Innovación en la normativa" el IDEC, conjuntamente con el Instituto de Urbanismo, desarrolló para el CONAVI (Consejo Nacional de la Vivienda), un "Código de habitabilidad para la vivienda y su entorno", con el objeto de revisar e integrar la normativa nacional sobre la materia, para ir progresivamente sustituyendo o ajustando las normas actuales, al concepto de normas de comportamiento (*performance*).

2. En relación con la estrategia “Reducción del consumo de recursos”, buena parte del énfasis se ha colocado en un mayor uso de materiales provenientes de recursos renovables. Es el caso de los trabajos sobre la madera como recurso material renovable, en componentes y sistemas constructivos, así como el aprovechamiento de materiales no convencionales como tableros o la madera de pino Caribe³ para la construcción de paredes portantes⁴, y ventanas de romanilla⁵. Otro trabajo en la línea del uso de recursos renovables es el de producción de cementos puzolánicos a partir de cascarilla de arroz⁶.

3. Dos trabajos adicionales referidos a la estrategia de reducir el consumo de recursos son: el componente prefabricado para losas de fundación en suelos con amenazas geotécnicas⁷, significativo aporte a la reducción de la vulnerabilidad de las edificaciones; y la evaluación acerca del impacto ambiental de los bloques macizos de suelo-cemento (Acosta, 2000, pp. 19-30) que reveló la limitada aplicación de esta técnica a la producción masiva de vivienda de interés social.

4. El equipo de investigación en el área de “requerimientos de habitabilidad” del IDEC trabaja directamente en la búsqueda de eficiencia y racionalidad energética de las edificaciones⁸, estrategia “Eficiencia y racionalidad energética”, realizando proyectos sobre ahorro energético en el diseño y uso de las edificaciones, dirigidos tanto a profesionales como a usuarios. Así mismo, este equipo ha asesorado a profesionales de la arquitectura que han incorporado las experticias de este grupo a su trabajo proyectual (Acosta, 2003).

5. Con respecto a la estrategia de “Reducción de la contaminación y toxicidad”, existe una preocupación acerca del impacto que produce la limpieza de la fachada de panelita de arcilla, de tan extendida aplicación en nuestros edificios, la cual se lava utilizando enormes cantidades de agua y aplicando ácido muriático. Pudiera plantearse cómo eliminar esta práctica a través de la prefabricación de acabados de arcilla, o de la sustitución accesible del ácido.

6. La línea de investigación de mampostería estructural confinada se ha planteado responder a las estrategias de “Construir bien desde el inicio”, “Cero desperdicio” y “Producción local y flexible”, así como contribuir a la disminución de la vulnerabilidad de las edificaciones de mampostería frente al sismo.

a. En esta línea destaca el proyecto de investigación⁹ que se realiza actualmente sobre mampostería confinada con perfiles metálicos, evaluado experimentalmente en el IMME para certificar su sismo-resistencia. La propuesta

plantea reformular la manera como se construye la mampostería, mejorando las condiciones de trabajo, haciéndola más eficiente, y menos vulnerable, en particular entre los sectores de menores ingresos, para la construcción masiva de viviendas de bajo costo.

b. Se plantea igualmente dentro de esta línea desarrollar una Normativa Nacional de Mampostería Estructura¹⁰, para el análisis y proyecto de estructuras basadas en muros de mampostería portante.

c. En esta línea también se trabaja en el tema de “Pruebas de diseño y desarrollo de configuraciones arquitectónicas” para lograr difundir en el ámbito profesional la aplicación de sistemas de muros de mampostería, con el objeto de propiciar opciones que satisfagan criterios de funcionalidad, progresividad, ambientales, estéticos, así como requerimientos de sismo-resistencia¹¹.

d. Otro proyecto es el de Rehabilitación de edificaciones en zonas de barrios, construcciones que en su mayoría son ejecutadas sin tomar en cuenta algunos de los principios fundamentales de sismo-resistencia. Se exploran opciones de reforzamiento estructural de estas edificaciones¹².

7. A partir de la estrategia “Cero desperdicio” se pueden generar algunas posibles propuestas de investigación (ver Acosta, 2002a):

a. Desarrollar ideas para la construcción convencional que contribuyan a la reducción de la generación de residuos. Otros países han introducido mejoras en las prácticas constructivas convencionales para producir menos desechos (Huete y Llatas, 2000). Se deben incluir opciones para las partidas de obra: movimientos de tierra y excavaciones, infraestructura, estructura, albañilería, fachadas, etc.

b. Desarrollar innovaciones para propiciar la construcción seca y la deconstrucción, con el fin de minimizar residuos y reciclar los componentes y partes de la edificación, así como minimizar las operaciones en obra: montar en vez de construir. En este sentido, sería útil elaborar un inventario y una clasificación de la construcción en seco en Venezuela, y proponer líneas de investigación tales como: sistemas de fundación prefabricados, muros de contención por gravedad, estructuras de esqueleto y paneles, entramados, entrepisos, instalaciones y accesorios.

8. Con referencia a la estrategia “Producción local y flexible”, ya se mencionó que los proyectos de mampostería se prestan para una producción de este tipo y, por ende, para aplicar el principio de “sincretismo tecnológico” propuesto por Cilento (1995). Se puede plantear una investigación sobre procesos de fabricación confiables para la producción flexible y de pequeña escala de bloques y otras unidades de albañilería (Acosta, 2002b),

la cual requiere de un control de calidad acucioso para garantizar el comportamiento de los elementos que conformarán los muros resistentes de la mampostería. En este sentido, se proponen las siguientes líneas de trabajo:

— Diseño de procesos de producción de bloques que garanticen la producción con una mínima dispersión estadística en su calidad, con el objeto de que los muros tengan un comportamiento predecible frente al sismo.

— Diseño y desarrollo de máquinas y equipos para fabricar bloques localmente, con énfasis en los procesos de mezclado de los materiales y en el moldeo, prensado o vibro-compactación de la mezcla, con máquinas fáciles de reproducir por cualquier pequeño taller metalmeccánico.

9. Un tema de especial interés es el de la mitigación del riesgo en el patrimonio o *stock* edilicio construido. Los edificios de las urbanizaciones populares construidos por el Estado, en especial los de estructuras de pantallas de concreto, lucen especialmente vulnerables ante el evento de un sismo por tanto, se propone desarrollar criterios y lineamientos que contribuyan a mitigar la situación de vulnerabilidad y riesgo en la que se encuentran estas edificaciones, aprovechando la inversión en la adecuación estructural para ampliar los edificios, construyendo nuevos apartamentos y así densificar las urbanizaciones con mínima inversión en urbanismo¹³.

Como ya fue señalado, la lista anterior no pretende ser exhaustiva sino tan sólo ilustrar con algunos ejem-

plos la riqueza y la variedad de posibles proyectos tanto en las líneas de investigación y desarrollo existentes en el caso particular del IDEC como en la dirección que pudieran asumir nuevos proyectos.

A partir de los elementos conceptuales y de las estrategias de sostenibilidad presentadas en este artículo se estima que los investigadores pudieran contar con suficientes herramientas para su trabajo en innovación y desarrollo tecnológico. Sin embargo, la búsqueda de una mayor sostenibilidad de los asentamientos humanos crea un conjunto de dudas y problemas a resolver. ¿Qué decisiones de políticas públicas es necesario adoptar para que los sectores público y privado internalicen los planteamientos de la Agenda? ¿Qué políticas y acciones deben ser adoptadas para mejorar la sostenibilidad de la ciudad existente, incluyendo los barrios auto-producidos? ¿Es posible instrumentar en el corto plazo medidas como las de deconstrucción, reutilización de componentes y reciclaje de desperdicios? ¿Cómo el reciclaje de residuos y desechos para la producción de materiales de construcción puede integrarse con los otros factores de la producción industrial? ¿Cómo operaría en gran escala el reciclaje de desperdicios y residuos de manufactura y construcción? ¿Cómo responderán arquitectos e ingenieros a estas estrategias? Estas son interrogantes que, en este siglo XXI, implican cambios fundamentales en las relaciones entre sociedad, economía, tecnología y ambiente.

Notas

1 La preferencia en la valoración de los residuos de la construcción se inclina hacia reciclar menos y a reutilizar más, en virtud de que en la reutilización la recuperación de materiales se logra sin agregar más procesos y energía a los residuos para revalorizarlos (Acosta, 2002a).

2 Existe amplia información acerca de la energía usada en las edificaciones e incluso se tienen datos de que su participación en las emisiones de dióxido de carbono es enorme. Por ejemplo, en Gran Bretaña esta energía alcanza 50% de todas las emisiones de CO₂ en ese país (ver Atkinson, 199, p. 29).

3 Antonio Conti, Ricardo Molina y Ana Loreto (ver Loreto, A. et al. "La madera: una línea de investigación", *Tecnología y Construcción* 16-III, 2000: 9-20).

4 Trabajo de Grado de Maestría de Argenis Lugo, IVª Maestría del IDEC.

5 Ana Loreto. Ventana de paletas de madera, una propuesta. Trabajo de Ascenso, IDEC-UCV, 1998.

6 Ver Águila, 2001: 27-34; Águila y Sosa, 2002: 19-22; y Águila, I. "Exploración tecno-económica del empleo de residuos para la producción de cemento puzolánico". Proyecto de Tesis Doctoral, FAU-UCV.

7 Premio IDEAS 2003 (ver Márquez, 2004).

8 Integrantes del grupo: M. Hobaica, M.E. Sosa, G. Siem, L. Rosales. Proyectos realizados: "Técnicas de reducción del gasto energético en edificaciones", Agenda Ciudad (FONACIT), con la C. A. Electricidad de Caracas: *Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico*, y *Guía del consumidor de energía eléctrica en viviendas y oficinas (2003)*. Ministerio de Energía y Minas: *Guía de operaciones de ahorro de energía eléctrica en edificaciones públicas (2002)*. Investigaciones en curso: "Integración de sistemas pasivos de acondicionamiento térmico en Venezuela" (Programa de Cooperación Internacional Norte/Sur, ECOS NORD.), "Diseño y validación de software de simulación de confort térmico en edificaciones con acondicionamiento pasivo", "Identificación y validación de requerimientos térmicos en componentes externos de edificaciones en función de las zonas climáticas de Venezuela" y "Acústica, térmica e iluminación, pautas de diseño para Venezuela".

9 Proyecto de investigación financiado por FONACIT, bajo la conducción de Domingo Acosta (IDEC) y Enrique Castilla (IMME); ver Acosta, D. et al. (2005a y 2005b).

10 Trabajo en etapa de formulación, a ser desarrollado por el IMME (Prof. Enrique Castilla), el IDEC (Prof. Domingo Acosta) y el Sector de Estudios Urbanos (Prof. Iris Rosas) de la Escuela de Arquitectura Carlos Raúl Villanueva de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela.

11 Actualmente se lleva a cabo en la Maestría del IDEC la investigación "Edificaciones con muros: viviendas de mampostería estructural confinada con perfiles de acero" elaborada por el Arq. Christian Vivas. Tutores: Prof. Domingo Acosta (IDEC) y Prof. Enrique Castilla (IMME).

12 La Arq. Paola Cano en la Maestría del IDEC desarrolló el Trabajo de Grado titulado "Habilitación de viviendas en zonas de barrios: caracterización, diagnóstico y reforzamiento estructural", con el cual obtuvo Mención Honorífica. Tutores: Prof. Domingo Acosta (IDEC) y Prof. Enrique Castilla (IMME).

13 Ver: Acosta, D., Cilento, A. y Castilla, E. "Desarrollo sostenible y disminución de la vulnerabilidad urbana de la rehabilitación urbanística: el caso de las urbanizaciones populares del INAVI". Propuesta de investigación; y Ricardo, Adah. "Reforzamiento estructural y ampliación de viviendas". II Curso de Especialización IDEC-UCV. Tutores: I. Águila y D. Acosta.

Referencias bibliográficas

- Acosta, D. (2002a) "Reducción y gestión de residuos de la construcción y demolición (RCD)", *Tecnología y Construcción* 18(II): 49-68.
- Acosta, D. (2002b) "Arquitectura y Construcción Sostenibles: Propuestas y Experiencias Profesionales y Académicas". Trabajo de ascenso para optar a la categoría de Profesor Asociado. IDEC - FAU - UCV.
- Acosta, D. (2000) "La mampostería de bloques de suelo-cemento: ¿Tecnología apropiada para la producción masiva de viviendas de interés social?", *Tecnología y Construcción* 16-I: 19-30.
- Acosta, D.; Cilento, A. y Castilla, E. (s.a.) Desarrollo sostenible y disminución de la vulnerabilidad urbana de la rehabilitación urbanística: el caso de las urbanizaciones populares del INAVI. Propuesta de investigación.
- Acosta, D.; Vivas, Ch.; Castilla, E.; Fernández, N. (2005a) "Sistema de muros de mampostería estructural confinada con perfiles de acero para la vivienda de bajo costo". Trabajo inédito.
- Acosta, D.; Vivas, Ch.; Castilla, E.; Fernández, N. (2005b) "Desarrollo de sistema de muros de mampostería estructural confinada de rápido montaje para la vivienda de bajo costo". Informe de Avance n° 2. Proyecto de investigación n° 2001002524, FONACIT.
- Águila, I. (s.a.) Exploración tecno-económica del empleo de residuos para la producción de cemento puzolánico. Proyecto de Tesis Doctoral, FAU-UCV.
- Águila, I. (2001) "Cementos puzolánicos: una alternativa para Venezuela", *Tecnología y Construcción* 17-III: 27-34.
- Águila, Idalberto y Sosa, M. (2002) "Tecnología alternativa de producción de cemento puzolánico con cascarilla de arroz", *Tecnología y Construcción* 18-I, 2002: 19-22.

- Atkinson, C. et al. (1999) "Life cycle, embodied energy and carbon dioxide emissions in buildings", *Industry and environment: the construction industry and the environment 2*, vol. 19. UNEP: 29-31.
- Carter, G. (1995) "Save Energy: Build it Right First Time". III International Congress Energy, Environment and Technological Innovation. Proceedings, Vol. 1: 405-409.
- Chevallier, J. L.; Le Téno, J. F. y Rilling, J. (1994) "Cicle de vie des produits de construction: un outil d'analyse spécifique", *CSTB Magazine*, n° 78: 30-34.
- Cilento, A. (2005) "Ciclo de vida, sostenibilidad e innovación en la construcción", en: Pedro Lorenzo (coord.) *Un techo para vivir*, CYTED-Edicions UPC. Centre de Cooperació per le Desenvolupament, CCD. Barcelona: 439-443.
- Cilento, A. (2002) "Hogares sostenibles de desarrollo progresivo", *Tecnología y Construcción* 18-III: 23-38. Reproducido en: *Venezuela en perspectiva*, Carlos Genatios (compilador), Fondo Editorial Question, 2004.
- Cilento, A. (1998) "Construcción sostenible: de las declaraciones a la acción". *Tribuna del Investigador*, vol. 4, n° 2. APIU-UCV, Caracas: 72-81.
- Cilento, A. (1996) "Syncretism and Technological Innovation in Housing Production". III International Congress Energy, Environment and Technological Innovation, UCV/Univ. La Sapienza. Caracas. Proceedings, vol. 1: 411-415. (Versión en español en: *Tecnología y Construcción* 12-I, 1996, Caracas: 15-19).
- Cilento, A. (1995). "Sincretismo e Innovación Tecnológica en la Producción de Viviendas". *Tecnología y Construcción* Vol. 12-1.
- Cilento, A. et al. (1992) "Descentralización de la construcción y el mantenimiento de obras públicas", en: Rafael de la Cruz (coord.) *Descentralización, gobernabilidad y democracia*. COPRE/PNUD/Editorial Nueva Sociedad. Caracas. 190-199. (Reproducido en versión original en *Tecnología y Construcción* 7-8, 1992: 17-37).
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas. *Dictamen del Comité Económico y Social sobre el tema "Desarrollo sostenible en materia de construcción y vivienda en Europa"*, (97C355/05). No. C 355 (1997); 16-21.
- Folch, R. (1998) *Ambiente, emoción y ética*. Editorial Ariel, S.A. Barcelona.
- Fullana, P. y R. Puig (1997) *Análisis del ciclo de vida*. Rubes Editorial. S.L., Barcelona.
- Huete, R. et al. (1998) "Gestión del medio ambiente urbano. Residuos que se generan en la actividad de construcción. Cuantificación y minimización". Congreso Latino-Americano Tecnología e Gestão na Produto de Edifícios: Soluções para o Tercero Milenio, São Paulo: 309-332.
- Huete, R. y Llatas, C. (2000), "Estrategias para minimizar los residuos desde el proyecto de construcción", en: Aplicaciones arquitectónicas de materiales, VI Jornada, Madrid 21 de noviembre 2000, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, ETSAM, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas
- IDEC/IU/UCV (2002) *Código nacional de habitabilidad para la vivienda y su entorno*. CONAVI. Premio Nacional de Investigación en Vivienda 2001 (compartido).
- Kibert, Ch. et al. (2000) "Construction ecology and metabolism: natural system analogue for a sustainable built environment", *Construction Management and Economics* 18: 903-916.
- Llatas, C. (2000), "Residuos Generados en la Construcción de Viviendas", Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.
- Loreto, Ana et. al. (2000) "La madera: una línea de investigación", *Tecnología y Construcción* 16-III: 9-20.
- Loreto, A. (1998) Ventana de paletas de madera, una propuesta. Trabajo de Ascenso, IDEC-UCV, Caracas.
- Márquez, A. (2004) Sistema modular prefabricado para placa de fundación reticular alveolada: una opción para la vivienda de bajo costo sobre suelos con amenaza geotécnica. Trabajo de Grado. Vª Maestría del IDEC, 2004.
- Martínez Olavarría, L. (1965) *Problema de Vivienda en Venezuela*. Trabajo incluido en Lovera, A. (compilador) *Desarrollo urbano, vivienda y Estado*. Banco Obrero. Caracas, 1996.
- Pérez, Carlota (1999) "Nuevo contexto para el desarrollo sustentable", en *Semanario Quinto Día*, Caracas, junio 1999: 16-17.
- Programa LIFE. (1997). La enseñanza de la arquitectura y del medio ambiente. Comisión Europea. Dirección General XI. Medio Ambiente. COAC, Demarcación de Barcelona. Barcelona.
- Ricardo, Adah "Reforzamiento estructural y ampliación de viviendas". II Curso de Especialización IDEC-UCV. Tutores: I. Águila y D. Acosta (trabajo en curso).
- UNCED (1992) United Nations Conference on Environment and Development. Agenda 21. Chapter 7.
- UNCHS (1993) Development of national technological capacity for environmentally sound construction. United Nations Centre for Human Settlements (Habitat). HS/293/93E.
- Yeang, K. (1999) *Proyectar con la naturaleza. Bases ecológicas para el Proyecto Arquitectónico*