

¿Cómo incorporar los criterios y principios de la sostenibilidad en el diseño, construcción y gestión de las infraestructuras?

El medio natural «construido», definido por las edificaciones y los sistemas de infraestructura civil utilizados por las personas que viven en él, es la base fundamental sobre la que una sociedad existe, se reproduce y evoluciona. Como principales proveedores y custodios del «entorno natural construido» a lo largo de su vida útil, la arquitectura, la ingeniería y la construcción juegan un papel crítico en determinar la calidad, integridad y longevidad de esta base. Este artículo ofrece un mapa conceptual y un conjunto de principios iniciales para la implementación de la sostenibilidad del ambiente construido.

Eraikinek eta azpiegitura zibilen sistemak —bertan bizi diren pertsonak erabiltzen dituztenak— zehazten duten «eraikitako» natura-ingurunea da gizarte bat bizi, ugaltu eta garatzeko funtsezko oinarria. Arkitekturak, ingeniartzak eta eraikuntzak, naturaren bizitza erabilgarrian «eraikitako natura-ingurunearen» hornitzaile eta jagole nagusi gisa, paper erabakigarria dute oinarri horren kalitatea, osotasuna eta bizitza-luzera zehazterakoan. Artikulu honek mapa kontzeptuala eta hasiera bateko printzipio-sorta eskaintzen ditu eraikitako naturaren iraunkortasuna ezartzeko.

The built environment, defined by the building and the civil infrastructure systems used by people who live in it, is the fundamental foundation upon which a society exists, develops, and survives. As main providers and watchers of such 'built environment' throughout its useful life, Architecture, Engineering, and Construction industries play a critical role in determining the quality, integrity and longevity of this foundation. This paper offers a conceptual roadmap and an initial set of principles to implement built environment sustainability.

ÍNDICE

1. Introducción
 2. Tres visiones de la sostenibilidad
 3. Mapas para la implantación de la sostenibilidad
 4. Principios de sostenibilidad
- Referencias bibliográficas

Palabras clave: infraestructuras, sostenibilidad, principios de sostenibilidad

N.º de clasificación JEL: Q51, Q56, L74

1. INTRODUCCIÓN

Un diverso abanico de personas y organizaciones alrededor del mundo han estado promoviendo el concepto de desarrollo sostenible, que de acuerdo a la Comisión Brundtland es una manera de garantizar el «...satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.» (WCED, 1987)

Liverman *et al.* van más allá de esta definición y definen la «...sostenibilidad como la supervivencia indefinida de la especie humana (con una calidad de vida más allá de la pura supervivencia biológica) a través del mantenimiento de los sistemas básicos de soporte de la vida (aire, agua, tierra, biota) y de la existencia de una infraestructura e instituciones que distribuyen y protegen los componentes de estos sistemas.» (Liverman *et al.* 1988). En la comunidad internacional, ejemplos de organizaciones involucradas en promover el desarrollo sostenible inclu-

yen, entre otros, a las Naciones Unidas (<http://www.un.org/>), al Banco Mundial (<http://www.worldbank.org/>), al Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBSCD); (<http://www.wbcsd.org>), a la Federación Mundial de Organizaciones de Ingeniería (WFEO); (<http://www.unesco.org/fmoi/>), a *Lead International* (<http://www.lead.org/>), y a numerosas organizaciones no gubernamentales en diversos países.

Más específicamente, ejemplos en los Estados Unidos, incluyen, entre otros, a:

- Organizaciones del sector privado y público, desde miembros corporativos del *Business Roundtable* (<http://www.businessroundtable.org/>), y numerosas asociaciones industriales y profesionales, hasta agencias del gobierno federal, estatal y local, los servicios militares (el Ejército, la Fuerza Naval y la Fuerza Aérea) y grupos activistas medioambientales.

- Profesionales en la industria manufacturera, la industria agrícola, y la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AIC).
- Investigadores y educadores de las ciencias físicas, ciencias y sociales, y de muchas otras disciplinas como la economía, la planificación urbana, la arquitectura, la ingeniería, la construcción y otras.
- Individuos, familias y comunidades en zonas urbanas, suburbanas y rurales.

Si bien la convergencia de este diverso conjunto de actores alrededor de la sostenibilidad es muy positiva, la amplia diversidad y el abanico de perspectivas que cada uno representa han generado numerosas definiciones, marcos conceptuales y principios de sostenibilidad, algunos de ellos compatibles y otros en conflicto entre sí (Carpenter y Vanegas, 1998). Además, la magnitud y el alcance del cuerpo de conocimiento del desarrollo sostenible y de la sostenibilidad, tanto existente como continuamente emergente, es intimidante. Aún más, un examen de este cuerpo de conocimiento revela que no hay una teoría unificada de sostenibilidad, y que se manifiesta en múltiples formas: principios, conceptos, heurísticas, estrategias, guías, especificaciones, estándares, procesos, herramientas, mejores prácticas, lecciones aprendidas y casos de estudio.

Sin embargo, dentro de esta diversidad y complejidad, existe un área común de consenso: el estado actual no es sostenible a largo plazo y, como consecuencia, para alcanzar la sostenibilidad debe ser cambiado. No es posible continuar indefinidamente, como se ha hecho en el pasado, y dejar que organizaciones públicas y privadas, comunidades, familias, e individuos sigan haciendo:

- Lo que hacen: entrega de productos y bienes, prestación de servicios o ejecución de actividades.
- Cómo lo hacen: las funciones, los procesos, las prácticas y los procedimientos seguidos.
- Con qué lo hacen: los recursos utilizados para hacer lo que hacen y cómo lo hacen (capital natural, social, industrial, construido y económico).

Por ello, a todos los niveles es necesario invertir de forma integral en la investigación, el desarrollo, pruebas y la implantación de estrategias, tácticas, mecanismos y procedimientos operativos alternativos, innovadores y más sostenibles.

Específicamente dentro de la base de recursos, es básico que dos elementos relacionados e inseparables entre sí mantengan su integridad. El primer elemento es el medio ambiente construido, compuesto por edificaciones (comerciales, institucionales, residenciales e industriales, etc.) y sistemas de infraestructura civil (sistemas de transporte, energía, suministro de agua, alcantarillado y comunicaciones, etc.). El segundo elemento es la base industrial, compuesta por los sistemas de producción de todo tipo de bienes y servicios, los cuales se apoyan en el medio ambiente construido. En cualquier nación del mundo estos dos elementos proveen la cimentación sobre la que su sociedad existe, se desarrolla y sobrevive. Tanto la calidad de vida de sus ciudadanos y de sus comunidades, como la efectividad de sus organizaciones públicas y privadas, son una función del valor, la calidad, el funcionamiento y la sostenibilidad del medio ambiente construido y de la base industrial. La arquitectura, la ingeniería y la construcción desempeñan un papel fundamental en la determinación de la calidad, integridad y longevidad de esta cimen-

tación, ya que estos sectores son los principales proveedores del medio ambiente construido, y por consiguiente, de la base industrial, y también desempeñan el papel de guardián a lo largo del ciclo de vida de las edificaciones y de los sistemas de infraestructura civil.

Mundialmente, las labores que realiza la AIC son:

- Desarrollan edificaciones y sistemas nuevos de infraestructura civil, cada vez más complejos, tanto en terrenos donde nunca antes se había construido, como en terrenos previamente utilizados y con necesidad de limpieza ambiental.
- Rehabilitan los que están deteriorados.
- Expanden, mejoran, y readecuan aquellos que todavía están en buen estado.
- Recuperan y reconstruyen aquellos que han sido dañados por fenómenos naturales o acciones humanas.
- Corrigen impactos al medio ambiente natural causados por su construcción y funcionamiento.
- Restauran, reconstruyen y preservan algunos que poseen significado histórico o cultural.
- Desmontan o destruyen aquellos que han alcanzado su vida útil.

Este tipo de labores genera un volumen significativo de actividad económica. Por ejemplo, desde 1975 a 1995, el valor de las nuevas construcciones, como porcentaje del producto interior bruto en los Estados Unidos, fue como promedio un 8% (Hendrickson, 2000). Adicionalmente, estas actividades de la AIC también genera significativos impactos tanto directos como indirectos al medio ambiente, como el consumo excesivo y la degradación de recur-

sos naturales; creación y acumulación de residuos y degradación ambiental, tema que ha sido documentado extensivamente en la literatura (p.ej.: EBN, 2001; Birkeland, 2002; Langston y Ding, 2001).

Como resultado de esta situación, la AIC se enfrenta actualmente a presiones causadas por la proliferación de:

- Leyes y regulaciones de preservación y protección ambiental, cada vez más restrictivas;
- Estándares internacionales, como por ejemplo la serie ISO 14000 de gestión ambiental de la Organización Internacional de Normalización (ISO 2006);
- Estándares nacionales por consenso, como por ejemplo los sistemas de clasificación para determinar el nivel de sostenibilidad de edificaciones verdes Leadership in Energy and Environmental Design —LEED™ (Liderazgo para el diseño energético y ambiental), que fue desarrollado por el *U.S. Green Building Council*— USGBC (Consejo de Edificios Verdes de los Estados Unidos) (USGBC, 2006); y
- Numerosos grupos ambientalistas, como por ejemplo el Sierra Club (Sierra Club, 2006).

Este tipo de presiones se complica aun más por los retos adicionales impuestos a los proveedores de servicios y productos de arquitectura, ingeniería y construcción por las organizaciones que promueven o son dueñas de los proyectos de construcción, tanto en el sector público como en el sector privado. Como consecuencia de la limitada disponibilidad de recursos económicos para proyectos de inversión de capital, estas organizaciones exigen la aplicación de las mejores prácticas, como las promovidas por el *Construction Industry*

Institute—CII (CII, 2006), enfocadas hacia la obtención de los más altos niveles de eficiencia y efectividad tanto en el cumplimiento técnico y de gestión en la entrega como en el funcionamiento de edificaciones y sistemas de infraestructura civil a lo largo de toda su vida útil, así como en el desarrollo físico y funcional de las tecnologías y los materiales utilizados en ellas. Adicionalmente, estas organizaciones están poniendo mayor atención en la optimización de la utilización de recursos, en la reducción o eliminación de los residuos, en la mejora al respeto medio ambiental, y en la satisfacción de las necesidades y aspiraciones, actuales y futuras, de los principales actores de sus proyectos (desde los diseñadores de políticas, los reguladores y el público en general, pasando por los profesionales de la planificación, arquitectura, ingeniería y construcción, y los vendedores y proveedores de recursos, hasta los usuarios y trabajadores del proyecto construido).

Estas demandas y expectativas están guiando a la AIC a pensar en la sostenibilidad a la hora de:

- Definir, planificar y diseñar proyectos de edificaciones y sistemas de infraestructura civil.
- Obtener los recursos necesarios, construirlos, entregarlos, ponerlos en funcionamiento y mantenerlos de manera más sostenible.
- Proveer tecnologías, instalaciones, productos y materiales para su uso y mantenimiento.

Los enfoques tradicionales de respetar y acatar solamente las regulaciones ambientales, o de tomar acciones correctoras de manera reactiva, han demostrado ser costosos, ineficientes y muchas veces inefectivos. En contraste, en un enfoque sostenible, la sostenibilidad, en cualquiera de sus múltiples manifestaciones, se integra de una manera formal, explícita y sistemática dentro de la toma de decisiones a través de todas las fases de la vida de un proyecto de edificación o de un sistema de infraestructura civil, particularmente la asignación temprana de recursos, planificación y fases del diseño conceptual.

Una revisión de la literatura sobre la sostenibilidad del medio ambiente construido (Pearce y Vanegas, 2002a) identifica:

— Referencias generales, p. ej.: Langston y Ding, 2001; Barnett y Browning, 1995 y Wooley *et al.*, 1997.

— Modelos y marcos conceptuales, p. ej.: Lyle, 1994; Cib, 1998 y Hill *et al.*, 1994.

— Heurísticas y guías, p. ej.: EBN, 1992; PTI, 1996 y Mendler y Odell, 2000.

— Herramientas de evaluación y valoración, p. ej.: Lippiatt y Norris, 1995; Baldwin *et al.*, 1998 y USGBC, 2000.

— Guías de recursos, p. ej.: St. John, 1992; Hermannsson, 1997 y Holmes *et al.*, 1999.

Sin embargo, a pesar del extenso y diverso campo de conocimiento sobre este tema, los retos presentados por los atributos y características intrínsecas de edificaciones y sistemas de infraestructura civil, las complejidades de los procesos actuales para su entrega y utilización, y la diversidad de recursos requeridos para su entrega y uso (p.ej.: mano de obra, equipos, materiales, tecnologías, dinero y energía, entre otros) hacen que la implantación de la sostenibilidad del medio ambiente construido sea una meta difícil.

Este artículo ofrece un mapa conceptual y un conjunto de principios iniciales para hacer realidad la sostenibilidad del medio ambiente construido, como punto de partida y debate dentro de la AIC, que pueda dar lugar a futuras investigaciones de una naturaleza más

teórica y cuantitativa. Concretamente se explica cómo incorporar los criterios y principios de sostenibilidad en el diseño, construcción y gestión de las infraestructuras.

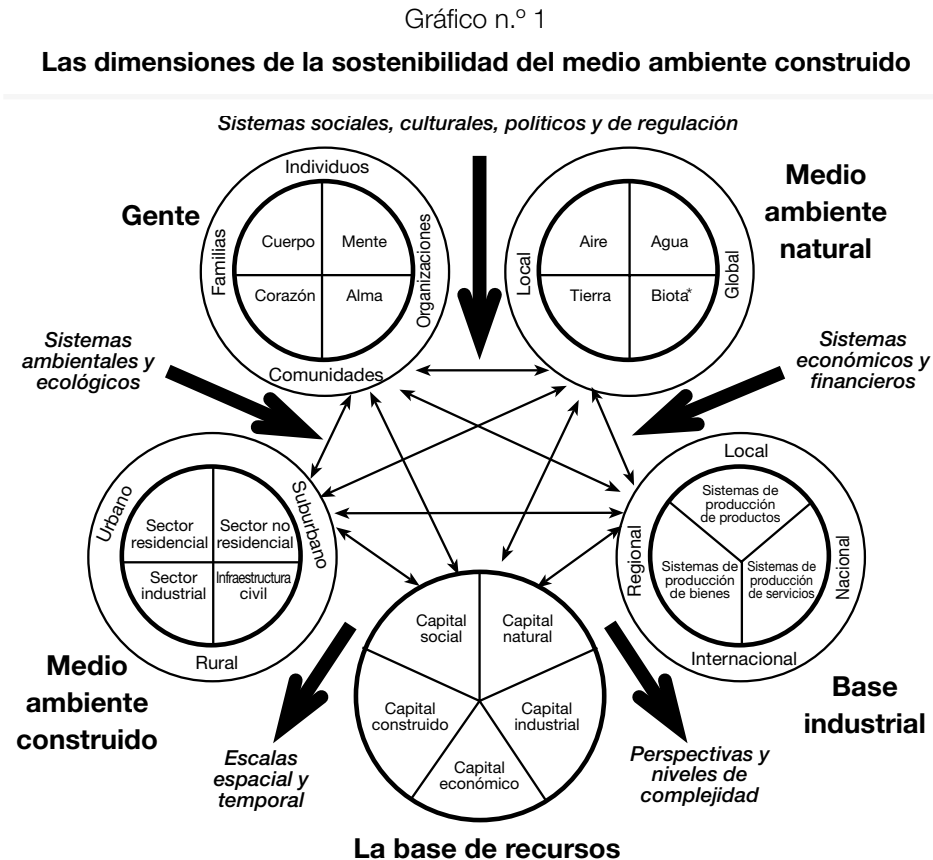
una visión sectorial; y la tercera es una visión de proyecto. Una discusión más detallada de éstas se encuentra en Vanegas, 1999 y Pearce y Vanegas, 2002b. A continuación se describe cada una de estas visiones.

2. TRES VISIONES DE LA SOSTENIBILIDAD

Esta sección describe tres visiones como punto de partida para cualquier discusión sobre sostenibilidad en la AIC: la primera es una visión global; la segunda es

2.1. Visión global

Como se muestra en el gráfico n.º 1, las principales dimensiones de la sostenibilidad incluyen:



Fuente: Elaboración propia.

* Biotá: Conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área dada (N. del E.).

- Los cinco elementos básicos de la sostenibilidad.
- Los tres tipos de sistemas que definen el marco contextual dentro del cual existen estos elementos.
- Las dos diferentes escalas dentro de las cuales se deben enmarcar tanto los elementos como el marco contextual.
- Las diferentes perspectivas y niveles de complejidad dentro de los que se puede definir la sostenibilidad.

Elementos

La primera dimensión de la sostenibilidad en la AIC está compuesta por cinco elementos básicos. El primer elemento es la «Gente», pues el objetivo principal de la sostenibilidad es lograr, mantener y mejorar la calidad de vida de las personas individualmente (en su cuerpo-salud, mente-educación, corazón-bienestar emocional y alma-espiritualidad), y como miembros de familias, comunidades y organizaciones. El segundo elemento es el «Medio ambiente natural», pues un segundo objetivo es lograr, mantener y mejorar la calidad, la integridad y la salud del aire, del agua, de la tierra y de la biota, o vida animal y vegetal, tanto a nivel global, como a nivel local. El tercer elemento básico es el «Medio ambiente construido», es decir, el conjunto de edificaciones residenciales y no residenciales, edificaciones industriales, y sistemas de infraestructura civil que define nuestros entornos urbanos, suburbanos y rurales. El cuarto elemento es la «Base industrial», que está definida por los sistemas de producción de bienes y servicios, tanto local, regional, nacional como internacional. Finalmente, el quinto elemento es la «Base de recursos», compuesta por el capital que emana de cada uno de los otros elementos

(es decir, el capital social, el capital natural, el capital construido, el capital industrial), y adicionalmente el capital económico.

En la búsqueda de la sostenibilidad en la AIC es necesario:

- Reconocer y aceptar la simbiosis que existe entre estos cinco elementos.
- Mantener las interrelaciones e interdependencias entre ellos en armonía y no en conflicto.
- Asegurar que las decisiones o acciones tomadas en cada uno de ellos tengan impactos positivos y no negativos en los otros.
- Y por encima de todo proteger la base de recursos para asegurar su disponibilidad, no sólo para satisfacer las necesidades de la gente, del medio ambiente natural, del medio ambiente construido y de la base industrial en la actualidad, sino también en el futuro para las generaciones venideras.

Marco Contextual

La segunda dimensión de la sostenibilidad en la AIC es el marco contextual dentro del cual existen cada uno de los cinco elementos básicos, que está definido por tres tipos de categorías de sistemas. La primera categoría está conformada por «sistemas sociales, culturales, políticos y de regulación». Por ejemplo, la aplicación de principios de sostenibilidad en una sociedad de un país en vías de desarrollo, con una realidad cultural y política propia, y con limitados mecanismos de protección ambiental, se manifiesta de manera muy diferente a la de un país desarrollado con diferentes características sociales, culturales y políticas, y con mecanismos avanzados de protección ambiental. La segunda categoría está conformada

mada por «sistemas ambientales y ecológicos». Por ejemplo, la aplicación de principios de sostenibilidad en una región como la Amazonía es muy diferente a su aplicación en una región como el desierto del Sahara. Finalmente, la tercera categoría está conformada por «sistemas económicos y financieros». Por ejemplo, la aplicación de principios de sostenibilidad desde la perspectiva de una economía global es muy diferente a su aplicación en economías locales.

En la búsqueda de la sostenibilidad en la AIC es necesario reconocer que cada uno de estos sistemas es una fuente de influencias y presiones para cada elemento básico de la sostenibilidad y desarrollar mecanismos eficientes para enfrentarse y manejar esas influencias y presiones de manera efectiva.

Escalas

La tercera dimensión de la sostenibilidad en la AIC está compuesta por dos diferentes tipos de escalas dentro de las cuales se deben enmarcar tanto los elementos como el marco contextual. La primera escala es la «espacial» y la segunda es la «temporal». Por ejemplo, la aplicación de principios de sostenibilidad en un proyecto de construcción, especialmente si el proyecto es la construcción de un sistema de infraestructura civil, es muy diferente si sólo se tiene en consideración para un análisis de posibles impactos el terreno inmediato donde se construye el proyecto, o si se incluye su impacto a nivel local, regional, nacional o inclusive internacional. De la misma forma la aplicación de estos principios también es distinta si sólo se tiene en consideración un horizonte de tiempo inmediato, o si se incluye su impacto a corto, medio o largo plazo. En la búsqueda de la sostenibilidad

en la AIC es necesario entender y aceptar que las repercusiones de los proyectos ejecutados trascienden el «aquí» y el «ahora,» y por consiguiente, es necesario ampliar el alcance de los análisis de posibles impactos para incluir análisis a varias escalas espaciales y temporales.

Perspectivas y niveles de complejidad

Finalmente, la cuarta dimensión de la sostenibilidad en la AIC está compuesta por las diferentes «perspectivas» y por los diferentes «niveles de complejidad». La aplicación de principios de sostenibilidad es diferente según la perspectiva que se desee tomar, ya sea desde un punto de vista personal, profesional, empresarial, industrial o social, y también según la complejidad al que se desee enfrentar, ya sea desde un nivel molecular, o desde un nivel de material, producto, sistema o sistema complejo. En la búsqueda de la sostenibilidad en la AIC es necesario definir qué es lo que se quiere lograr de acuerdo a las metas y objetivos de la perspectiva seleccionada, y hacia qué se va a enfocar el esfuerzo de implantación. Por ejemplo, en un proyecto de construcción, la aplicación de principios de sostenibilidad es diferente desde un punto de vista empresarial que desde de un punto de vista social, y de igual manera, si se tratan de implementar sólo en un material o en un sistema total.

2.2. Visión sectorial

La definición de la sostenibilidad sectorial es un segundo punto de partida para cualquier discusión sobre sostenibilidad en la AIC.

Proceso convencional

En este campo el proceso tradicional de desarrollo de edificaciones y sistemas de infraestructura civil comienza con la extracción y la utilización de recursos primarios naturales, tanto renovables como no renovables (aire, agua, tierra y recursos minerales y animales y vegetales) y con la producción y utilización de energía. Con los recursos extraídos y con la energía producida se procede a la transformación y desarrollo de tecnologías, sistemas, productos y materiales, los cuales, después de su transporte y comercialización, son utilizados en la entrega, puesta en funcionamiento y mantenimiento de edificaciones y sistemas de infraestructura civil, donde al final de su vida útil, tradicionalmente, se destruyen o abandonan. Todos estos procesos son altos consumidores de energía y, adicionalmente, son la causa de agotamiento y degradación de recursos, de impacto y degradación ambiental, de generación y acumulación de residuos, y de impactos en la sociedad.

Proceso sostenible

Para contrarrestar el proceso tradicional de desarrollo de edificaciones y sistemas de infraestructura civil, el cual no es sostenible a largo plazo, la AIC necesita empezar a transformarse hacia un sistema de desarrollo sostenible que opere, no como un proceso lineal y abierto, sino como un proceso cíclico y cerrado (Wallace, 2002). Como se muestra en el gráfico n.º 2, este sistema contiene varios elementos que son fundamentales para la implantación de la sostenibilidad en el entorno construido.

El sistema está enmarcado dentro de un contexto definido por el entorno social, cultural, político y de regulación; el entorno

económico y financiero; y el entorno ecológico y ambiental.

La satisfacción de las necesidades y aspiraciones humanas tiene que ser una parte integral de los resultados del proceso de desarrollo, tanto de la generación actual como para futuras generaciones.

La utilización de los recursos naturales se debe realizar de una manera proactiva, mediante el seguimiento y el control de la extracción de recursos de la biosfera, de manera que la parte proporcional de suministro de recursos siempre exceda a la parte proporcional de consumo de recursos; y de la litosfera, de manera que se evite su total agotamiento.

Las estrategias y tecnologías sostenibles se deben usar de una manera proactiva dentro de cada uno de los elementos del sistema, para:

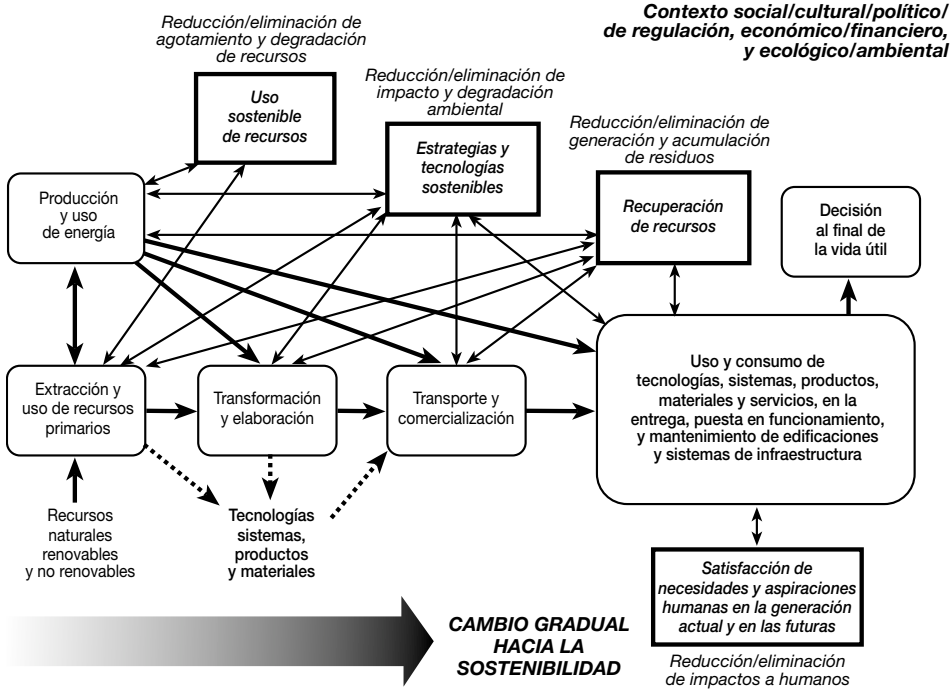
- Asegurar la compatibilidad ambiental de los recursos y la energía utilizados actualmente en la industria de la construcción, por medio del desarrollo y uso de sustitutos y alternativas más ambientalmente sostenibles;
- Prevenir o mitigar posibles impactos ambientales antes de que ocurran los daños al medio ambiente, mediante la utilización de técnicas de preservación, de prevención de la polución, de seguimiento y de evaluación y control; y
- Corregir impactos ambientales cuando los daños al medio ambiente ya han ocurrido, mediante la utilización de técnicas de recuperación, limpieza y restauración.

Así el sistema se mueve gradualmente, y de manera continua, hacia la sostenibilidad.

La recuperación de componentes, productos y materiales de construcción se debe

Gráfico n.º 2

La sostenibilidad a nivel sectorial



Fuente: Elaboración propia.

hacer de una manera proactiva dentro de cada uno de los elementos del sistema, a través de su posible reuso directo, re-elaboración, retransformación y descomposición.

Colaboración

Actualmente, la AIC exhibe un alto nivel de fragmentación entre la amplia gama de organizaciones e individuos que la define, una falta de integración entre productos y procesos y una limitada interacción y colaboración entre los tres grupos de actores

principales (definidos abajo), con tendencia a trabajar independientemente uno del otro. Cada uno de estos tres grupos de actores incluye a todos los participantes en las diferentes fases del ciclo de vida completo de:

- Grupo 1. La entrega y uso de edificaciones: planificación; diseño; suministro de recursos y construcción; ensayos de las instalaciones hidráulicas, eléctricas y mecánicas, y puesta en marcha de la edificación; funcionamiento y mantenimiento; y el final de su vida útil.

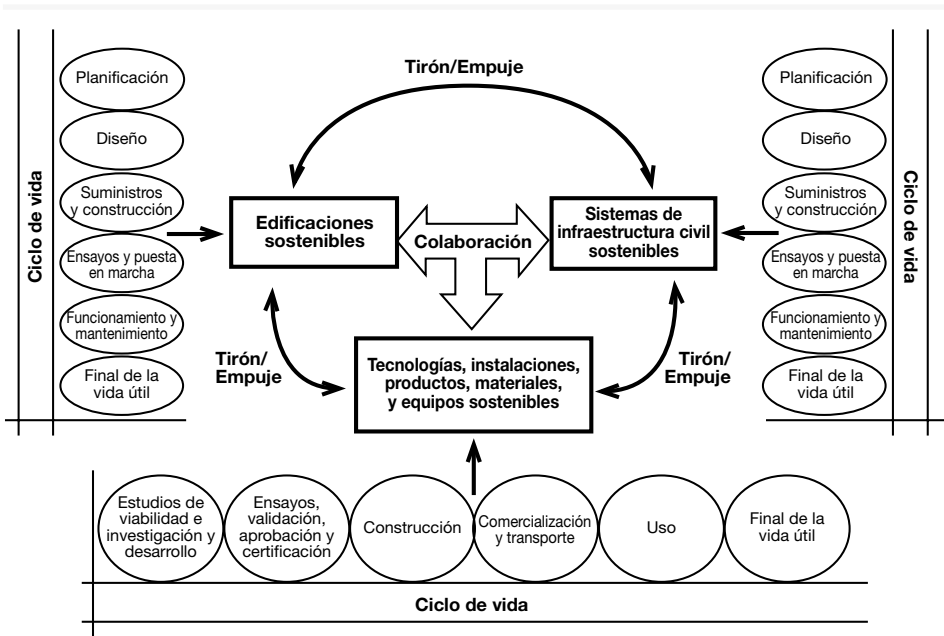
- Grupo 2. La entrega y uso de sistemas de infraestructura civil: desde la planificación hasta el final de su vida útil.
- Grupo 3. El desarrollo y uso de tecnologías, instalaciones, productos, materiales, y equipos utilizados tanto en edificaciones como en los sistemas de infraestructura civil: estudios de viabilidad e investigación y desarrollo; ensayos, validación, aprobación y certificación; construcción; comercialización y transporte; uso; y el final de su vida útil.

Consecuentemente, para lograr la sostenibilidad en la AIC, es necesario promover un mayor nivel de colaboración entre los sectores, no solo internamente dentro de

cada uno de estos grupos, sino también externamente unos con otros. El gráfico n.º 3 presenta un esquema conceptual para lograr este objetivo. El concepto fundamental es que cada uno de estos tres grupos puede «tirar» o «empujar» de cualquiera de los otros dos hacia el desarrollo, entrega y uso de edificaciones sostenibles, de sistemas de infraestructura civil sostenibles y de tecnologías, instalaciones, productos, materiales y equipos sostenibles. Adicionalmente, dentro de cada uno de estos grupos, el ciclo de vida de sus actividades se considera como un todo integral, no sólo como una suma de partes independientes. Un ejemplo de las posibilidades que se abren con este tipo de entorno de colaboración es el concepto que una edificación residencial

Gráfico n.º 3

Colaboración entre los sectores hacia la sostenibilidad



Fuente: Elaboración propia.

puede ser proveedora de energía eléctrica, en vez de ser solo consumidora. Este concepto puede llevar a promotores, diseñadores y constructores de proyectos residenciales, a:

- Impulsar a los proveedores de recursos para la construcción hacia el desarrollo de nuevas tecnologías y sistemas fotovoltaicos para tejados.
- Empujar a los promotores, diseñadores y constructores de redes de energía eléctrica a beneficiarse, de alguna manera, de esta fuente alternativa de energía adicional generada fuera de la red existente.

2.3. Visión por proyecto

La definición de la sostenibilidad a nivel de proyecto es un tercer punto de partida para cualquier discusión sobre sostenibilidad en la AIC.

Proceso convencional

En estos sectores, el proceso tradicional de definición y entrega de un proyecto de construcción, ya sea para una edificación o para un sistema de infraestructura civil, es un proceso lineal que comienza con el propietario del proyecto, que puede ser una empresa o entidad pública o privada, una unidad organizacional o funcional dentro de una empresa o un individuo. El propietario establece la motivación del proyecto, que puede ser la búsqueda de:

- Una solución a un problema.
- La satisfacción de una necesidad.
- La capitalización de una oportunidad.
- La realización de una aspiración.

El proceso continúa con la definición y entrega del proyecto, que consiste en el uso eficiente y productivo de la planificación, diseño, suministro de recursos, construcción y ensayos de las instalaciones hidráulicas, eléctricas y mecánicas para la puesta en marcha del proyecto. Paralelamente a estas actividades, el proceso también incluye el uso eficiente de la base completa de recursos requeridos en el proyecto, que puede incluir, entre otros, recursos económicos y financieros; físicos como materiales, equipos y herramientas; humanos como personal profesional técnico, administrativo y directivo y también personal de obra; y tecnológicos como sistemas informáticos, de comunicación, de colaboración a distancia, y toda la gama de tecnologías de la informática. El proceso termina con la entrega final de la edificación o del sistema de infraestructura civil construido, listo para comenzar sus actividades y mantenimiento.

Proceso sostenible

Para mejorar el proceso tradicional de definición y entrega de un proyecto de construcción y lograr que los proyectos sean más sostenibles, la AIC necesita empezar a convertir este proceso lineal y abierto en uno cíclico y cerrado, enmarcado por un contexto definido por principios de sostenibilidad, las escalas espaciales y temporales, las perspectivas y los niveles de complejidad deseados (Vanegas y Pearce, 1997). Como se muestra en el gráfico n.º 4, este proceso mejorado contiene varios elementos que son fundamentales para la implantación de la sostenibilidad en el entorno construido. Es necesario:

- Considerar el proyecto desde el punto de vista de su ciclo de vida completo,

incluyendo su funcionamiento y mantenimiento, e incluso el final de su vida útil en toda la toma de decisiones, especialmente durante su definición y entrega.

- Hacer un seguimiento y una evaluación del uso del proyecto durante la totalidad de su vida útil.
- Documentar de manera formal los resultados de esta evaluación.
- Proporcionar esta información al propietario del proyecto, para que se incorporen estas lecciones aprendidas en proyectos futuros, como parte de un proceso de mejora continua.

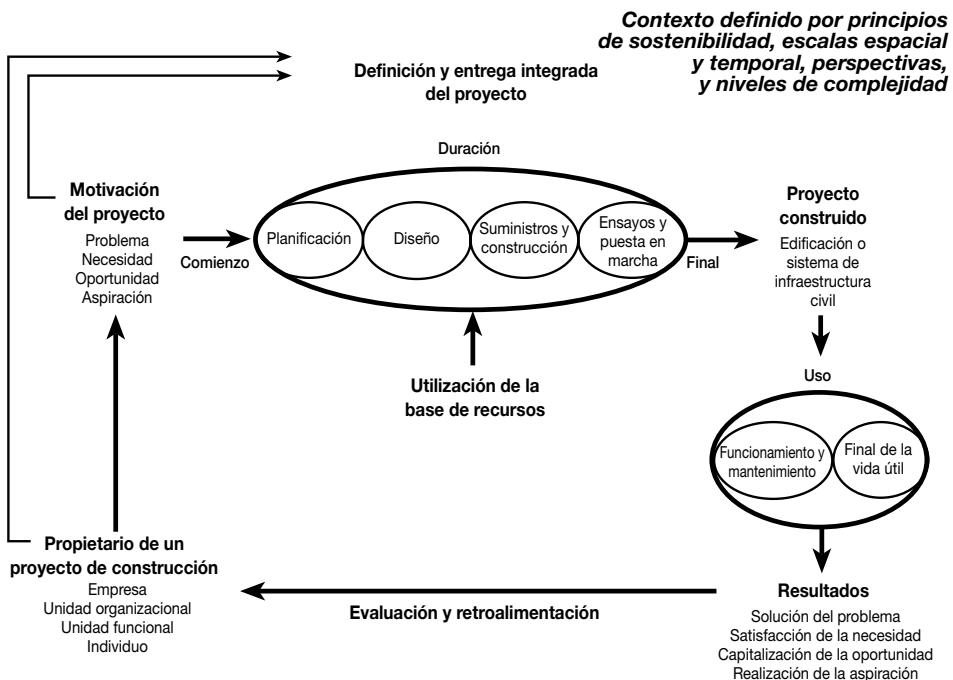
- Finalmente, para que el proyecto se ejecute y se utilice de manera sostenible, es necesario que se incorporen, de manera formal y explícita, principios de sostenibilidad en la motivación, la definición y entrega integrada, la selección y utilización de recursos y la manera en cómo se usa el proyecto.

3. MAPAS PARA LA IMPLANTACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD

Aunque las tres visiones de sostenibilidad discutidas en el apartado anterior pro-

Gráfico n.º 4

La sostenibilidad a nivel de proyecto



Fuente: Elaboración propia.

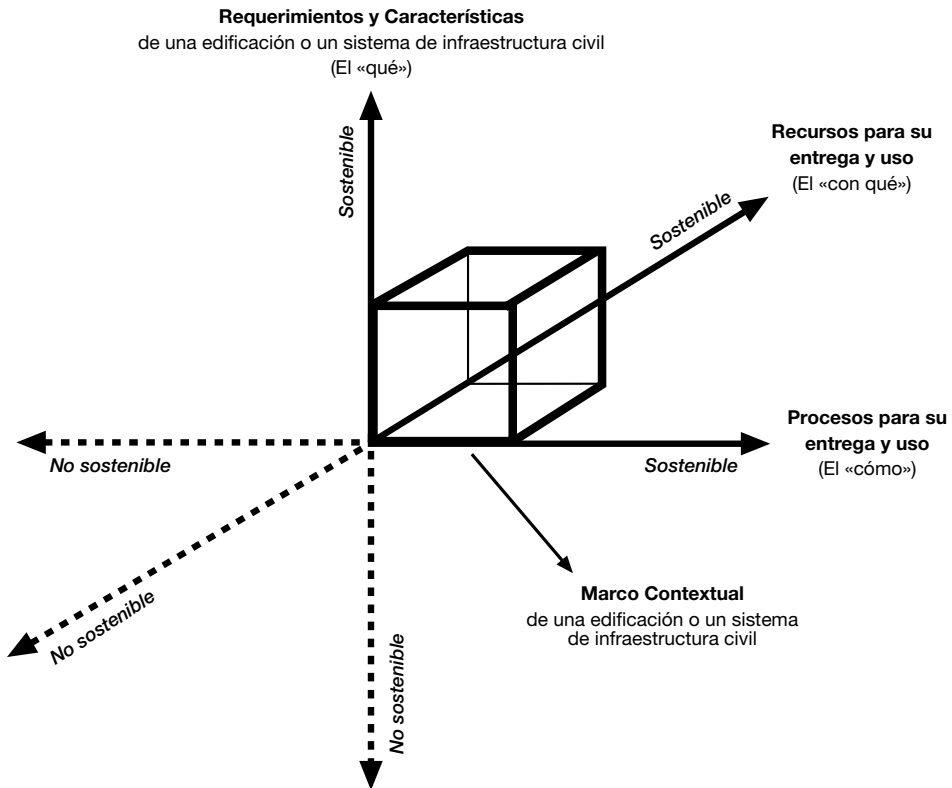
veen un sólido punto de partida para la implantación de la sostenibilidad en la AIC, no son suficientes, y en la ejecución de proyectos de construcción es necesario llevar a cabo acciones adicionales. Este apartado describe tres mapas para la integración de la sostenibilidad en la AIC: el mapa estratégico, el táctico y el operativo. Diversos trabajos (Vanegas, 2003), (Vanegas, 2001), (Vanegas y Pearce, 2000) y (Pearce y Vanegas, 1999) contienen una discusión más detallada de ellos. A continuación se describe cada uno de estos mapas.

3.1. Mapa estratégico

El gráfico n.º 5 muestra la estrategia principal para lograr la implantación de la sostenibilidad en la AIC. La clave es enmarcar un proyecto para una edificación o para un sistema de infraestructura civil dentro de un espacio contextual con dos características: está definido por los requerimientos y características específicos a lograr en el proyecto, los procesos para su entrega y utilización a seguir, y los recursos para su entrega y utilización a consumir; y utiliza

Gráfico n.º 5

Mapa para la implantación de la sostenibilidad. Fase estratégica



Fuente: Elaboración propia.

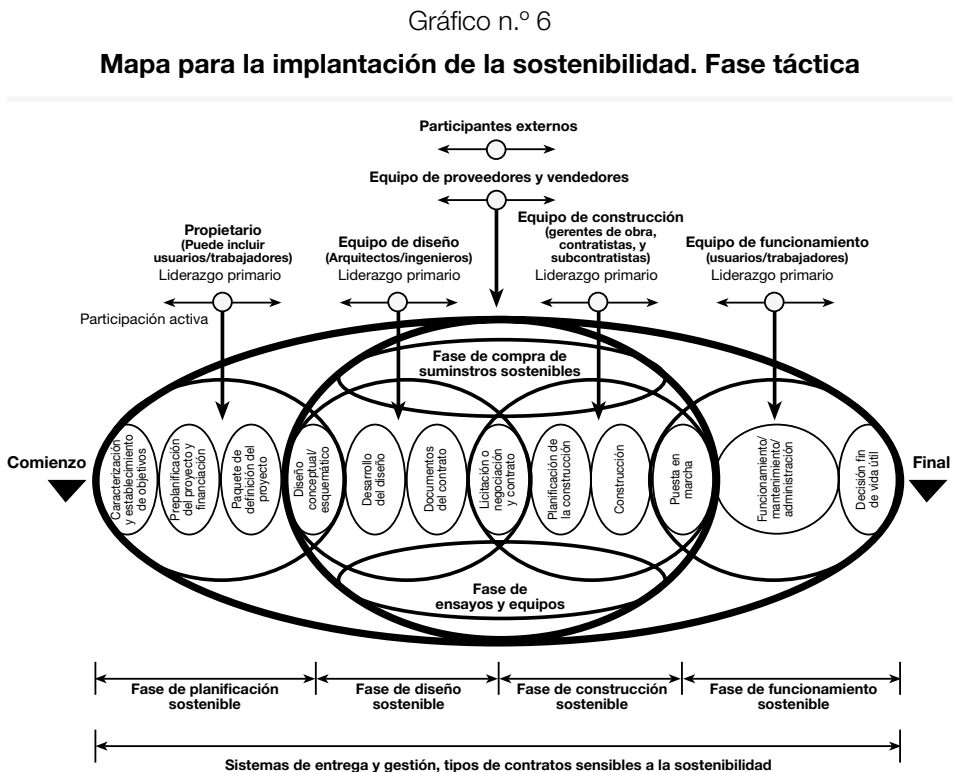
principios de sostenibilidad como un criterio fundamental en la toma de decisiones, en la selección entre alternativas y en la ejecución de acciones. Este espacio contextual se representa como un diagrama (X, Y, Z) en el que las necesidades y características del proyecto se representan en el eje X, los procesos en el eje Y y los recursos en el eje Z. Cada uno de los ejes tiene una escala que va desde lo que no es sostenible hasta lo que es sostenible, con un punto (0, 0, 0) central separando cada uno de los extremos.

La estrategia es, entonces, tratar de mantener, de manera relativa, todas las decisiones, selecciones y acciones en el

proyecto dentro del octante donde los tres puntos (X,Y,Z) son sostenibles. Aunque esto puede parecer simple conceptualmente, en la realidad es algo bien complejo, pues no existen definiciones claras ni absolutas, desde puntos de vista tanto cuantitativos como cualitativos, sobre qué es sostenible, qué no lo es y cuál es el punto que separa lo que es sostenible de lo que no lo es. Falta mucha investigación sobre este tema.

3.2. Mapa táctico

El gráfico n.º 6 muestra la táctica principal para lograr la implantación de la sostenibilidad



Fuente: Elaboración propia.

nibilidad en la AIC. La clave de esta táctica está en la integración total de las diferentes fases del ciclo de vida de un proyecto para una edificación o para un sistema de infraestructura civil.

Los sistemas de entrega y gestión, y los tipos de contrato utilizados para el proyecto, son sensibles a la sostenibilidad y de ninguna manera inhiben su implantación. En otras palabras, lograr sostenibilidad en el proyecto es un elemento integral de la estrategia de entrega, de contratación y de gestión del proyecto.

Todos los participantes en el proyecto (el propietario, los usuarios y trabajadores, el equipo de diseño, el equipo de construcción, los proveedores y vendedores, y los participantes externos) tienen una perspectiva común en el entendimiento de principios y conceptos de sostenibilidad; operan como un equipo integrado de alto rendimiento; y utilizan la sostenibilidad como un criterio fundamental en la toma de decisiones, en la selección entre alternativas y en la ejecución de acciones, en cada fase del ciclo de vida del proyecto.

Cada proceso, práctica o procedimiento operativo seguido en las diferentes fases del proyecto (la fase de planificación, diseño, construcción, compra de suministros, ensayos y comisión de equipos, y la fase de funcionamiento) ofrece un punto de entrada para la incorporación formal y explícita de sostenibilidad en cualquiera de sus manifestaciones.

Cada una de las fases del ciclo de vida de un proyecto contribuye de manera diferente a establecer el grado, la amplitud y la profundidad de los esfuerzos para la implantación de la sostenibilidad en el proyecto.

La fase de planificación sostenible comienza con un análisis sistémico de los atributos,

características y cualidades de un proyecto, desde un punto de vista de sostenibilidad, basado en la tipificación del proyecto por el sector que representa (construcción residencial, construcción no residencial, construcción industrial y construcción de sistemas de infraestructura civil, urbanización de tierras y de propiedad raíz) y por el tipo de proyecto que es (proyecto de nueva construcción, de rehabilitación, de readecuación, de conservación histórica, de recuperación de desastres, etc.). En esta fase también se desarrollan y definen de manera formal y explícita los objetivos de rendimiento para el proyecto, la preplanificación del proyecto, la aprobación de su financiación y la definición del proyecto, y en algunos casos, hasta el diseño conceptual y esquemático del proyecto.

La fase de planificación es la que tiene el mejor potencial para determinar la sostenibilidad de un proyecto al menor costo. Acciones específicas que se pueden llevar a cabo en esta fase incluyen: enmarcar las necesidades y características del proyecto desde una perspectiva de sostenibilidad; seleccionar de manera sostenible el terreno donde se va a construir el proyecto; asegurar la compatibilidad de los objetivos y del alcance del proyecto con las restricciones de su contexto físico y no físico.

La fase de diseño sostenible comienza con el diseño conceptual y esquemático del proyecto y continúa con el diseño detallado, el desarrollo de los documentos de contrato y, en algunos casos, incluye la licitación o negociación y la ejecución del contrato de construcción del proyecto. Esta fase también ofrece oportunidades de influir en la sostenibilidad del proyecto antes de iniciar las labores de construcción. Acciones específicas que se pueden llevar a cabo en esta fase incluyen: urbanizar sos-

teniblemente el terreno; diseñar las instalaciones del proyecto de manera integrada; lograr eficiencia en la utilización de energía y agua; usar materiales sostenibles; y asegurar la calidad ambiental interior.

La fase de compra de suministros sostenible es paralela a las fases de diseño y de construcción y tiene un punto de contacto con la cadena de suministros del proyecto, que provee todas las tecnologías, las instalaciones, los productos, los materiales y los equipos especificados por los diseñadores para realizar físicamente el proyecto. Mientras la esencia, los niveles de cumplimiento y los atributos deseados de estos recursos se han fijado en el momento del diseño del proyecto, es posible tener un considerable impacto positivo en el mismo como resultado de la selección de las fuentes de suministro de los recursos y por la manera de cómo se llevan a cabo. Las acciones específicas que se pueden llevar a cabo en esta fase incluyen: reducir o eliminar envases; aumentar la cantidad de material reciclado de los productos; minimizar o eliminar los residuos; y seleccionar materiales atendiendo al respeto al medio ambiente de los procesos de elaboración.

La fase de construcción sostenible incluye la planificación y la ejecución de las labores de construcción y la entrega y puesta en marcha del proyecto, que marca la transición a la fase de funcionamiento del proyecto. La construcción es el puente entre concepto y realidad y ofrece oportunidades adicionales para aumentar la sostenibilidad de un proyecto. Acciones específicas de puesta en marcha de sostenibilidad que se pueden tomar en esta fase incluyen: evitar alteraciones excesivas del terreno; asegurar altos niveles de calidad ambiental interior; aumentar el reciclaje y la reutilización de recursos dentro de las labores de construc-

ción; y mantener altos niveles de salud y seguridad en estas labores.

La fase de ensayos y comisión de equipos es importante ya que asegura que todos los sistemas y equipos de una edificación se instalen y prueben durante la construcción para asegurar que su funcionamiento esté dentro de los parámetros deseados y especificados. Falta de ensayos y equipos adecuados en un proyecto puede llevar a costos más altos de funcionamiento y mantenimiento, como resultado del uso ineficiente de energía y agua y a tener un impacto negativo en la productividad de los trabajadores.

La fase de funcionamiento sostenible incluye el funcionamiento, mantenimiento y utilización de la edificación o sistema de infraestructura civil hasta que se tome una decisión de qué hacer al final de su vida útil. Para que el uso y el mantenimiento se logren de manera sostenible es necesario planificar, asignar recursos adecuadamente y ejecutar todas las operaciones y procesos eficientemente. Adicionalmente, la sostenibilidad de edificaciones y de sistemas de infraestructura civil requiere la consideración explícita de lo que pasa con ellos al final de su vida útil por parte de todos los participantes en el proyecto a través del ciclo de vida completo, ya que decisiones tomadas, alternativas escogidas y acciones ejecutadas en cualquier etapa del proyecto pueden afectar a la decisión a tomar. Acciones específicas que se pueden llevar a cabo en esta fase incluyen: asegurar altos niveles de calidad ambiental interior, de comodidad térmica, de iluminación y de ventilación; conservar energía, agua y recursos; utilizar los residuos; considerar la reutilización de componentes; recuperar y reciclar recursos usados; y recuperación de terrenos.

3.3. Mapa operativo

El gráfico n.º 7 muestra los pasos principales para lograr la implantación de la sostenibilidad en la AIC a nivel operativo. La clave es un proceso integrado de definición y ejecución de un proyecto para una edificación o para un sistema de infraestructura civil, dentro del cual se deben integrar 15 elementos como un todo cohesionado.

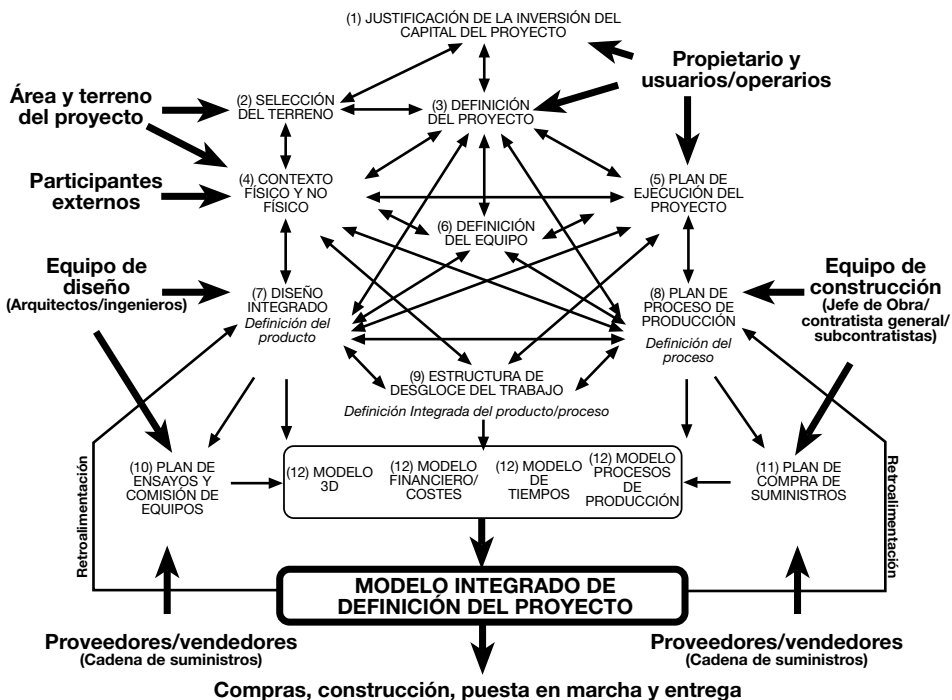
Individualmente, cada uno de estos 15 elementos ofrece un «punto de entrada» para la aplicación en el proyecto de principios, conceptos, estrategias, guías, especificaciones y normas de sostenibilidad. Co-

lectivamente, estos elementos establecen el grado, la amplitud y la profundidad del esfuerzo de incorporación formal y explícita de sostenibilidad en el proyecto.

Los dos puntos iniciales de partida para este proceso son la «justificación de la inversión de capital en el proyecto» y la «selección del terreno» para el mismo. En primer lugar, todo proyecto, ya sea de una edificación o de un sistema de infraestructura civil, tanto en el sector privado como en el sector público, debe estar justificado desde el punto de vista de la inversión de capital que representa. Para lograr la implantación de la sostenibilidad en el proyec-

Gráfico n.º 7

Mapa para la implantación de la sostenibilidad a nivel operativo



Fuente: Elaboración propia.

to es necesario que desde el principio la sostenibilidad sea una meta formal y explícita, y que la justificación se haga tomando en cuenta costos y beneficios dentro de un análisis de ciclo de vida completo. En segundo lugar, la selección del terreno también juega un papel fundamental ya que busca minimizar el impacto desde un punto de vista ecológico y ambiental.

Una vez se haya justificado la inversión del capital y se haya seleccionado el terreno, el proyecto continúa con el desarrollo de la «definición del proyecto» como la piedra angular del proceso integrado de definición y ejecución que define la naturaleza, la esencia y el alcance del proyecto desde el punto de vista del propietario, de los usuarios y de los trabajadores del mismo.

Tiene tres componentes. El primer componente está formado por las tres fases del proceso de definición de proyecto: formación, comunicación e integración. En la primera fase se desarrolla una definición del proyecto que integra la perspectiva del propietario, la de los usuarios y la de los trabajadores. Esta definición preliminar está basada en la visión, misión, plan estratégico y plan de gestión de la organización para la cual se va a ejecutar el proyecto. En la fase de comunicación se amplía la definición preliminar con las perspectivas de los equipos de diseño, construcción, compra de suministros y participantes externos del proyecto. Finalmente, en la fase de integración se desarrolla la parte final de definición del proyecto, asegurándose que contenga las perspectivas integradas y alineadas de todos los miembros del equipo como punto de partida para el proyecto.

El segundo componente está formado por los ocho pasos del desarrollo de la definición del proyecto. El primer paso es la tipificación del proyecto por tipo de cons-

trucción (residencial, industrial, comercial, institucional, etc.), y por tipo de proyecto (nuevo, rehabilitación, readecuación, recuperación, etc.). Una vez se han establecido las características generales del proyecto, los siguientes siete pasos tienen como objetivo la identificación, definición y documentación de:

- Los principales participantes directos e indirectos en el proyecto, tanto internos como externos, tanto individualmente, y como de la organización a la cual representan.
- Las metas y los objetivos de cada uno de estos participantes.
- Las características del contexto físico y del contexto no físico del proyecto.
- El alcance del proyecto.
- Los principales riesgos en el proyecto.
- Las principales influencias, relaciones e interdependencias entre todos estos elementos, que puedan afectar al funcionamiento del proyecto.
- Las diferentes estructuras de desglose del proyecto (funcional, instalaciones, elementos, componentes de costo, actividades de programación, etc.).

Finalmente, el tercer componente está formado por doce parámetros de funcionamiento que sirven de punto de partida para la identificación, definición y documentación formal, explícita, sistemática y sistémica de las metas y los objetivos del proyecto. Los primeros tres parámetros tienen que ver con el papel del proyecto como producto: compatibilidad y respuesta contextual del proyecto; papel funcional del proyecto; y papel formal y físico del proyecto. Los siguientes tres parámetros tienen que ver con el papel del proyecto desde un punto de vista convencional: calidad y confiabilidad; coste; y tiempo. Los siguientes tres

parámetros tienen que ver con el papel del proyecto desde el punto de vista de su entrega: seguridad y protección civil; compra de suministros y la edificabilidad; y ensayo y puesta en marcha de todas las instalaciones. Los últimos tres parámetros tienen que ver con el papel del proyecto desde el punto de vista de su uso: funcionamiento y mantenimiento del proyecto; la calidad ambiental interior del proyecto; y los impactos en la sostenibilidad.

El proceso integrado de definición y ejecución del proyecto continúa con la identificación, definición y documentación formal, explícita, sistemática, y sistémica de los siguientes elementos:

- El «contexto físico» vincula el proyecto y las características físicas del terreno, e incluye los análisis de la localización geográfica, accesibilidad, alternativas de transporte, condiciones de la superficie y el subsuelo, condiciones ambientales, infraestructura existente y actividades y bienes adyacentes. El «contexto no físico» del proyecto vincula el proyecto y los «participantes externos» y, también, el ambiente empresarial en el que está enmarcado el proyecto, e incluye los análisis de aspectos legales, de regulación, políticos, sociales, culturales, comunitarios, económicos, financieros, industriales y tecnológicos.
- El plan de ejecución del proyecto define cómo se debe ejecutar el proyecto en su totalidad y vincula el proyecto y el equipo de construcción. Este plan define el sistema de entrega y los tipos de contratos más adecuados, y también establece las estrategias generales del proyecto requeridas para:

- Asegurar un alto nivel de calidad en la ejecución, de acuerdo con el funcionamiento y con la mejora continua, y también prevenir fallos parciales o totales del proyecto.
 - Identificar los posibles riesgos en el proyecto, clasificarlos entre inaceptables y reversibles, evaluar sus niveles de probabilidad y de impacto, y evitarlos, mitigarlos y manejarlos efectiva y eficientemente.
 - Asegurar la protección de personas, de propiedades y del medio ambiente contra eventos y desastres naturales o causados por personas.
- La definición del equipo del proyecto incluye todos los individuos y las organizaciones a las que representan, que están involucrados directa e indirectamente en el proyecto incluyendo:
- El propietario.
 - Los usuarios y trabajadores.
 - El equipo de diseño.
 - El equipo de construcción.
 - La cadena de suministro de vendedores y proveedores.
 - Participantes externos.

Este elemento, en respuesta a una serie de metas y objetivos comunes y bien definidos para el proyecto, establece procesos de desarrollo y mantenimiento de un espíritu de equipo y de colaboración; de alineación y consenso; y de eliminación de obstáculos. Adicionalmente, en este elemento se desarrollan una serie de normas de comportamiento, funcionamiento e interacción entre los miembros del equipo, incluyendo niveles de tolerancia. Finalmente, este elemento establece el tipo de liderazgo adecuado a

la naturaleza específica de la configuración del equipo del proyecto.

- El diseño integrado define la solución desarrollada por el equipo de diseño especificando la respuesta a cada elemento identificado, definido y documentado en la definición del proyecto.
- El plan del proceso de producción vincula el proyecto y la cadena de suministro de vendedores y proveedores de todos los recursos necesarios para el proyecto. Específicamente, este plan define las necesidades de fabricación y logística y estrategias generales para:
 - El suministro y entrega de todas las tecnologías, instalaciones, equipos, productos y materiales.
 - La instalación en obra, ensayos y puesta en marcha.
 - El control del flujo de las unidades de producción.
- La estructura de desglose del proyecto define las diferentes maneras en que se puede desglosar el conjunto del proyecto según la perspectiva elegida: de producto (desglose por funciones, por sistemas de construcción y por elementos de construcción), de proceso (desglose por componentes de costo, por actividades de construcción, por componentes de control de costos y tiempos); y general de proyecto (desglose por contratos, por organizaciones, por recursos).
- El plan de ensayo y puesta en marcha define todas las pruebas y acciones que hay que llevar a cabo para asegurar que todos los sistemas e instalaciones del proyecto funcionen a los niveles establecidos en las especificaciones.

- El plan de compras y suministros define las estrategias y procesos que se deben ejecutar para la adquisición de todos los recursos necesarios para el proyecto.

Estos elementos convergen en cuatro modelos. El primero es el modelo de tres dimensiones, que define todos los datos e información espacial y tridimensional de la solución de diseño del proyecto. El segundo es el modelo de costes, que define la financiación del proyecto y los parámetros específicos de costes, incluyendo: coste instalado total, costes de funcionamiento y mantenimiento y costes del ciclo de vida completo. El tercero es el modelo de tiempos, que define los ciclos de duración de cada una de las fases del ciclo de vida completo del proyecto. Finalmente, el cuarto es el modelo del proceso de producción, que define los procesos de ejecución de operaciones, procesos y tareas de construcción en la obra. El resultado de esta convergencia es un modelo integrado total de definición del proyecto. Este modelo es la base de una ejecución del proyecto en la obra, que sea efectiva y eficiente, dentro de altos niveles de valor, calidad, desempeño y productividad.

4. PRINCIPIOS DE SOSTENIBILIDAD

Como se ha discutido previamente, lograr la sostenibilidad en edificaciones y en sistemas de infraestructura civil comienza con tres visiones de sostenibilidad: global, sectorial y de proyecto y continúa con tres mapas de implementación: estratégico, táctico y operativo. El común denominador entre todos estos niveles es la aplicación continua, en cualquier elemento de los mapas, de principios de sostenibilidad y también de conceptos, heurísticas, estrategias,

guías, especificaciones, normas, procesos, herramientas, lecciones aprendidas, mejores prácticas y muchas otras manifestaciones de sostenibilidad.

Con respecto a los principios de sostenibilidad existe un extenso cuerpo de conocimiento. Por ejemplo, a nivel general de sostenibilidad, el Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (<http://www.iisd.org/sd/principle.asp>) tiene una completa colección de principios de varias fuentes. A nivel específico de sostenibilidad en el medio ambiente construido también existe bastante literatura. La clave es adaptar este conocimiento «a la medida» de cada contexto de aplicación y a la realidad específica de cada proyecto de construcción.

Algunos otros ejemplos selectos de principios relevantes y aplicables para lograr la sostenibilidad en edificaciones y en sistemas de infraestructura civil son:

- *El principio de precaución*, el cual provee una guía para prevenir posibles daños al medio ambiente y a la salud de los humanos, causados por actividades humanas: http://en.wikipedia.org/wiki/Precautionary_principle
- *Los principios de la Carta de la Tierra*, que promueven: respeto y cuidado por la vida; la integridad ecológica; la justicia económica y social; y la democracia, la eliminación de la violencia y la paz. URL: <http://www.earthcharter.org/>
- *Las condiciones del sistema del Paso Natural*, que definen principios básicos para mantener los procesos ecológicos esenciales y reconocer la importancia de satisfacer las necesidades humanas a nivel mundial como elementos integrales y esenciales de sostenibilidad. URL: <http://www.mtn.org/iasa/tnssystemconditions.html>
- *Los principios de Daly*, que establecen las capacidades regenerativas y asimilativas del capital natural y la parte proporcional de agotamiento de recursos no renovables. URL: <http://www.wsu.edu>
- *Los principios CERES* (Coalición para Economías Ambientalmente Responsables), que establecen un código de conducta ambiental para diversos grupos que trabajan juntos por un futuro sostenible. URL: <http://www.ceres.org/>
- *Los Principios de Bellagio*, que sirven de guía para que diversos grupos del sector privado y público puedan comenzar y mejorar el proceso y las actividades de evaluación de la sostenibilidad, el diseño y la selección de indicadores y la interpretación y comunicación de resultados. URL: <http://www.iisd.org/measure/principles/bellagio1.htm>
- *Los Principios Ahwahnee*, que sirven de guía para la planificación y el desarrollo de comunidades urbanas y suburbanas de manera que satisfagan más efectivamente las necesidades de aquellas personas que viven y trabajan en ellas. URL: <http://www.lgc.org/ahwahnee/principles.html>
- *Los pasos a la sostenibilidad de Interface*, que fueron creados para guiar a la compañía Interface (fabricante de alfombras modulares) hacia una mejor satisfacción de las necesidades de la sociedad y del medio ambiente, por medio del desarrollo de un sistema de producción que reduce drásticamente el impacto a los sistemas de vida del planeta, al mismo tiempo que se re-

ducen los costes de producción y se aumentan las ganancias. URL: <http://www.interfacesustainability.com/seven.html>

- *Los Principios de Hannover*, que tratan de ayudar a la definición de políticas, tanto del sector público como del privado, en el establecimiento de prioridades y en el diseño de soluciones para el desarrollo de edificaciones y sistemas de infraestructura civil, de manera que el resultado de estos esfuerzos satisfagan las necesidades y aspiraciones del presente sin comprometer la posibilidad del planeta de satisfacer las necesidades y aspiraciones del futuro. URL: <http://www.mcdonough.com/principles.pdf>
- *El Sistema LEED™* (liderazgo para el diseño energético y ambiental), que

proporciona una norma nacional voluntaria y desarrollada mediante consenso para el desarrollo de edificaciones sostenibles de alto rendimiento. URL: http://www.usgbc.org/leed/leed_main.asp

Cualquier principio, de cualquier fuente, se puede hacer efectivo al expresarlo en términos de: metas específicas; objetivos cuantificables asociados a la meta; y un plan detallado de aplicación. Al hacer esto, se establece un mecanismo en el cual cada principio se convierte en un indicador para la recogida de datos y evaluaciones comparativas; en un punto de referencia para evaluar las prácticas en organizaciones; y en una brújula para mantener el camino hacia una visión de edificaciones y sistemas de infraestructura civil sostenibles que se puede alcanzar de manera progresiva y realista.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALDWIN, R., YATES, A., HOWARD, N., y RAO, S. (1998): *Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) 98 for Offices*. Building Research Establishment, Construction research Communications. London. UK.
- BARNETT, D.L., y BROWNING, W.D. (1995): *A Primer on Sustainable Building*. Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO. USA.
- BIRKELAND, J. (2002): *Design for Sustainability*. Earthscan Publications Limited. Sterling. VA.
- CARPENTER, S., y VANEGAS, J. (1998): «Towards Sustainable Civil Infrastructure Systems», Proceedings of the Sustainable Technology and Complex Ecological and Social Systems Conference, of the forty-second Annual Meeting of the International Society for the Systems Sciences. Atlanta. Georgia.
- CIB — International Council for Building Research Studies and Documentation (1998): *Sustainable Development and the Future of Construction: A Comparison of Visions from Various Countries*. CIB Publication 225, W82 — Future Studies in Construction. Rotterdam. The Netherlands.
- CII (2006): *Construction Industry Institute*. University of Texas at Austin. Austin. TX. USA; URL: <http://www.construction-institute.org/>
- EBN — Environmental Building News (1992): «Checklist for environmentally sustainable design and construction». *Environmental Building News*. Building Green, Inc., Brattleboro, VT, USA, volume 1, number 2, February 1992 (updated 2001).
- EBN — Environmental Building News (2001): «Buildings and the Environment: The Numbers.» *Environmental Building News*, Brattleboro, VT, USA, volume 10, number 5, May 2001.
- HENDRICKSON, C. (2000): *Project Management for Construction: Fundamental Concepts for Owners, Engineers, Architects and Builders*. Second Edition. URL: <http://www.ce.cmu.edu/pmbook/>
- HERMANNSSON, J. (1997): *Green Building Resource Guide*. Taunton Press. Newtown. CT. USA.
- HILL, R.C., BERGMAN, J.G., y BOWEN, P.A. (1994): «A framework for the attainment of sustainable construction,» in C.J. Kibert (Ed.), *Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction*, CIB TG 16, Tampa, FL, 6-9 November 1994.
- HOLMES, D., STRAIN, L., WILSON, A., y LEIBOWITZ, S. (1999): *GreenSpec, The Environmental Building News Product Directory and Guideline Specifications*, E-Build, Inc., Brattleboro, VT, USA.

- ISO — International Standards Organization (2006): *The ISO 14000 Family of International Standards for Environmental Management*. International Standards Organization. Geneva, Switzerland; URL: <http://www.iso.org/iso/en/prods-services/otherpubs/iso14000/index.html>
- LANGSTON, C. A., y DING, G. K. C. (2001): Editors. *Sustainable Practices: Development and Construction in an Environmental Age*. Second Edition. Butterworth Heinemann. London. U.K.
- LIPPIATT, B.C., y NORRIS, G.A. (1995): «Selecting environmentally and economically balanced building materials» Proceedings of the 2nd. *International Green Building Conference and Exposition* — 1995, NIST SP 888
- LIVERMAN, D.M., HANSON, M.E., BROWN, B.J., y MERIDETH, R.W., Jr. (1988): «Global Sustainability: Toward Measurement.» *Environmental Management*, 12(2), 133-143.
- LYLE, J.T. (1994): *Regenerative Design for Sustainable Development*. Wiley Press. New York. NY. USA.
- MENDLER, S.F., y ODELL, W. (2000): *The HOK Guidebook to Sustainable Design*. John Wiley and Sons. New York. NY. USA.
- PEARCE, A. R., y VANEGAS, J. A. (1999): «Built Environment Sustainability: Indicators, Evaluation, and Decision Making» Proceedings, *Second Annual EDF Workshop on Excellence in Building*, Paris, France.
- PEARCE, A. R. y VANEGAS, J. A. (2002a): «A parametric review of the built environment sustainability literature,» *International Journal of Environmental Technology and Management, Inderscience Enterprises, Ltd.*, Volume 2, Nos. 1/2/3, 2002, pp. 54-93.
- PEARCE, A. R., y VANEGAS, J. A. (2002b): «Defining sustainability for built environment systems: an operational framework» *International Journal of Environmental Technology and Management, Inderscience Enterprises, Ltd.*, Volume 2, Nos. 1/2/3, 2002, pp. 94-113.
- PTI — Public Technology, Inc. (1996): *Sustainable Building Technical Manual: Green Building Design, Construction, and Operations*, Public Technology, Inc.. Washington. DC. USA.
- SIERRA CLUB (2006): *Sierra Club*, San Francisco, CA, USA; URL: <http://www.sierraclub.org/>
- ST. JOHN, A. (1992): *The Sourcebook for Sustainable Design, A Guide for Environmentally Responsible Building Materials and Processes*. Boston Society of Architects. Boston, MA, USA.
- USGBC — U.S. Green Building Council (2000): «Leadership in energy and environmental design (LEED) green building rating system, Vol. 2.0,» *U.S. Green Building Council*, Washington, DC, USA.
- USGBC — U.S. Green Building Council (2006): *U.S. Green Building Council*, Washington, DC, USA; URL: <http://www.usgbc.org>
- VANEGAS, J. (1999): «Sustainability and Civil Engineering: From Concept to Action» Proceedings of the *Structures for the Future — The Search for Quality, of the International Association for Bridge and Structural Engineering*. Rio de Janeiro. Brazil.
- VANEGAS, J. (2001): «The Project Definition Package: A Cornerstone for Enhanced Capital Project Performance» Proceedings of the *2001 World Congress of the International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB)*. Wellington. New Zealand (paper in conference CD ROM).
- VANEGAS, J. A. (2003): «Road Map and Principles for Built Environment Sustainability» *Environmental Science & Technology*. 2003, 37, 5363-5372.
- VANEGAS, J., y PEARCE, A. R. (2000): «Drivers for Change: An Organizational Perspective on Sustainable Construction» Proceedings of the *ASCE Construction Congress VI, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia*. pp. 406-415.
- VANEGAS, J., y PEARCE, A. R. (1997): «Sustainable Design and Construction Strategies for the Built Environment» Proceedings of the *Building Energy-Ensuring a Sustainable Future Conference, Northeast Sustainable Energy Association (NESEA)*, Cromwell, Connecticut.
- WALLACE, W. (2002): «Production-Consumption Model,» within *Engineers and Sustainable Development*, Web Site and CD ROM prepared by CH2M Hill, Inc., for the World Federation of Engineering Organizations (WFEO); URL: <http://www.ch2m.com/WFEO/index.htm>
- WCED — World Commission on Environment and Development (1987): *Our Common Future*. Oxford. Oxford University Press.
- WOOLEY, T., KIMMINS, S., HARRISON, P., y HARRISON, R. (1997): *Green Building Handbook*, E. and F.N. Spon, New York, NY, USA.