

LA SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE

Héctor Pantoja Ayala*

Introducción

La destrucción en gran escala de hábitats, la extinción de especies locales y la posibilidad de cambios climáticos mundiales han enfatizado que algunos impactos, generados por actividades del ser humano, pueden exceder la capacidad del ambiente natural para absorberlos. Diversos estudios han explicado que el proceso de producción de los objetos cubre una amplia red de impactos ambientales colaterales, que van desde la destrucción de la capa de ozono, la contaminación por dioxinas, hasta el calentamiento de la atmósfera. Esto se debe a que en la producción de objetos se utilizan fuentes de energía que contaminan el ambiente.

El uso de la energía como causa de contaminación ambiental fue explicado con bases científicas hace tiempo (Ehrlich, 1972; Goldsmith *et al.*, 1972). En el caso de la atmósfera, algunos impactos se han explicado de la siguiente forma: al quemar carbón y petróleo se emiten gases como el dióxido de azufre (SO₂) que genera lluvia ácida, y el dióxido de carbono (CO₂) que tiende a incrementar la temperatura del planeta; este fenómeno se ha denominado "efecto invernadero". Por esto, recientemente se ha pronosticado que de continuar

el actual consumo de energía a escala mundial, el efecto invernadero incrementará la temperatura media del planeta de cinco a 10 grados (Fahrenheit) en la mitad del próximo siglo. Esto ocasionaría pérdidas masivas de cultivos, inundaciones catastróficas en el sureste de Asia, pérdida de amplios hábitats, y una cantidad de efectos colaterales que en este momento no se pueden predecir (Clark, 1989: 47-52; Smith y Warr, 1991: 82-92; Finkelman, en Leff, 1990: 581).

Además de los gases producidos por la quema de energéticos derivados de fósiles, es necesario considerar otros gases contaminantes generados por la industria de la producción. Los más significativos de esos gases son los clorofluorocarbonos o CFC y los biogases: el metano y el CO₂. Los primeros se usan para fabricar materiales como el poliestireno, el segundo es generado por los desperdicios y basureros.

La última fuente significativa de gas causante del fenómeno de invernadero se deriva del proceso químico de producción de cemento. Este proceso genera 2% de la emisión global de CO₂ y desde 1950 ha estado creciendo a un ritmo de 6% anual. Como el dióxido de carbono es parte inherente de la producción del cemento, la única forma de reducir las emisiones es limitar su producción e incrementar la eficiencia de energía en las plantas productoras. Se considera que las posibilidades de reducir la demanda de ese material en la mayor parte del mundo es remota (Smith y Warr, 1991: 192).

* Profesor-investigador del Departamento de Métodos y Sistemas, CyAD, UAM-Xochimilco.

Resumen

El consumo de energía derivada de combustibles, como los hidrocarburos y el carbón, es una de las causas de impactos ambientales. Debido a que los materiales de construcción consumen energía en su extracción, producción y uso, son también generadores de impactos. Con base en principios y datos científicos, se propone a la energía contenida en los materiales como un indicador común para evaluarlos. Es propuesto un método práctico para seleccionar materiales que impactan menos al ambiente.

Abstract

The energy consumer derive combustibles like hydrocarbon and charcoal, their one of the causes of environment impact. The materials of construction consumer energy in their extraction, production and use, they are generators of impacts. In base to this principio and scientific date, porpouse that the energy content in materials taken a comun indicator to evaluate. A practical method to select material with less impact in the environment its propoused.

En el cuadro 1 se resumen los gases generadores del efecto invernadero y sus principales orígenes. Se nota que el dióxido de carbono se origina por la quema de hidrocarburos y la producción de cemento, entre otros. Las actividades señaladas en cursiva tienen relación con la industria de la construcción. La figura 1 presenta los porcentajes por gases que contribuyeron al calentamiento de la tierra en 1980. Es importante observar que el dióxido de carbono produjo 55% del total de los gases.

La figura 2 proporciona mayor información al respecto, pues muestra diferentes actividades humanas y su porcentaje en el calentamiento del planeta en la década de 1980. La actividad que mayor contribución tuvo fue la producción y uso de la energía con 46% (Smith y Warr, 1991: 176).

Considerando todos estos hechos, el presente estudio se propuso identificar métodos de evaluación del impacto al ambiente. Un objetivo particular fue encontrar un criterio unificador de los factores ecológicos, sociales y económicos, que permita desarrollar un método sencillo de evaluación de mate-

Cuadro 1

Gases Causantes del Efecto Invernadero y sus Orígenes

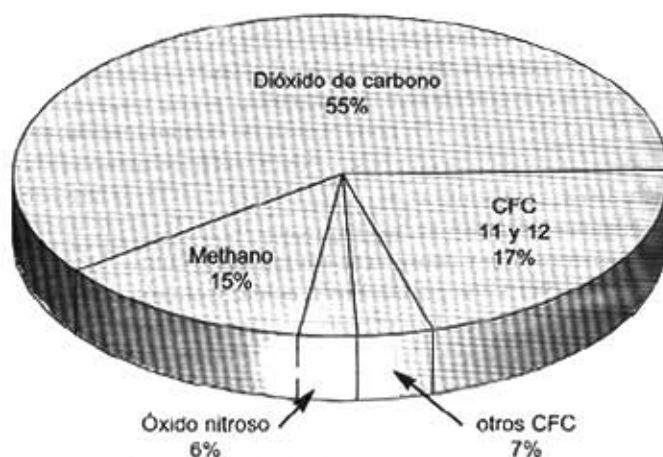
Dióxido de carbono (CO ₂)	+ <i>Quema de combustibles fósiles</i> + Madera como combustible + Deforestación y cambio de uso de la tierra + <i>Producción del cemento</i>
Metano (CH ₄)	+ <i>Emisiones por producción o transmisión de gas, petróleo o carbón</i> + Fermentación entérica de rumiantes (ganado, ovejas, cabras) + Cultivo de arroz en tierras inundadas + <i>Tiraderos de basura</i> + Quema y descomposición de biomasa
Clorofluorocarbonos (CFC)	+ <i>Solventes, refrigerantes, aerosoles, poliestireno (hule espuma)</i>
Óxido nitroso (N ₂ O)	+ Fertilizantes + <i>Quema de combustibles fósiles</i> + Deforestación de selvas tropicales y fuegos no controlados + Conversión de tierras para uso agrícola

Gases Involucrados en la Generación de Ozono a Bajas Alturas

Óxidos de nitrógeno	+ <i>Quema de combustibles fósiles</i> + Quema de biomasa
Monóxido de carbono	+ <i>Quema de combustibles fósiles</i> + Quema de biomasa
Hidrocarburos no derivados	+ Evaporación de solventes y combustibles líquidos del metano

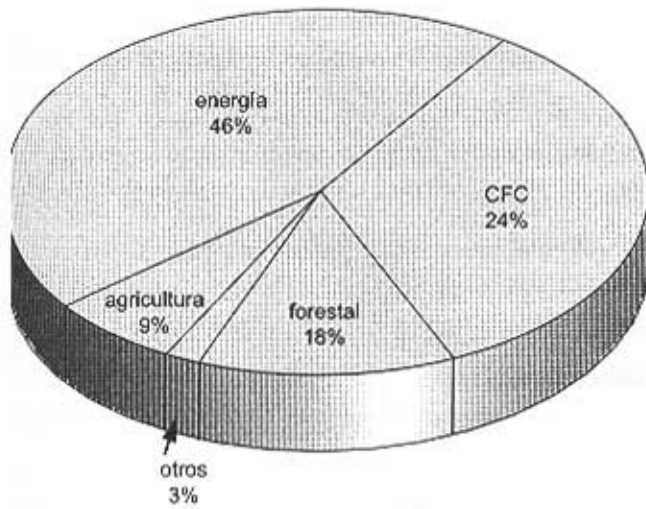
FUENTE: Smith y Warr, *op. cit.*, p. 174.

Figura 1
Contribuciones Estimadas por Gases Generadores del Efecto Invernadero en la Década de los Ochenta



FUENTE: Smith y Warr, *op. cit.*, p. 174.

Figura 2
Actividades Humanas y su Contribución Estimada al Efecto Invernadero en el Planeta



FUENTE: Smith y Warr, *op. cit.*, p. 176.

iales y técnicas de construcción. Otro objetivo fue el proponer un método sencillo que permita seleccionar materiales ecológicamente benignos, y que permita prevenir impactos en el ambiente. La intención final fue proporcionar información útil y práctica al autoconstruccionista y al profesional independiente, relativa a los materiales que impactan menos el ambiente. A continuación se presentan las ideas más relevantes relativas a los métodos y criterios para evaluar los impactos al ambiente. Después se explica el método utilizado para evaluar los materiales de construcción. Este método se aplica comparando dos componentes comunes: el bloque de concreto y el tabique de barro multiperforado tipo extruido.

Ante la seriedad de los impactos al ambiente, profesionales de diversas disciplinas han tratado de evaluarlos y reducirlos. En el ámbito de la arquitectura diversos estudios relacionados con el impacto ambiental se han dirigido a encontrar una metodología que permita *reducirlo o evitarlo*, enfocándose al tema de la vivienda (H. T. Odum, 1971, en Westman: 145). De hecho la intención principal ha sido evaluar a los materiales y técnicas de construcción en "sus características ambientales", costo en el ciclo de vida (*life-cycle cost*; Kampmann, 1985: 132-134). Una investigación en el marco de los países en vías de desarrollo (PVD) evaluó la adecuación térmica de varios sistemas constructivos, que utilizan técnicas pasivas para reducir la transmisión del calor al interior de la vivienda (Pantoja, 1989). Sin embargo, el aspecto de la participación y aceptación social no se incluyó seriamente en tales estudios.

Recientemente, movimientos conocidos como "arquitectura verde" o las "ciudades ecológicas internacionales" han enarbolado como su objetivo principal utilizar los recursos

más eficientemente y crear edificios y ciudades más saludables. Los principios de la arquitectura verde son los siguientes:

1. Conservar la energía.
2. Trabajar con el clima.
3. Reducir nuevos recursos.
4. Respetar a los usuarios.
5. Respetar el sitio.

En síntesis, lo principal es proteger el ambiente y disminuir los impactos globales *reduciendo* el uso de materiales, energía, y toxicidad, al mismo tiempo que se mantiene un presupuesto razonable (Walter *et al.*, 1992: 19-20; Van der Ryn *et al.*, 1996: 30-85).

Una razón de peso para conducir estudios de impacto ambiental es la oportunidad de identificar efectos costosos e indeseables, y modificar proyectos en la etapa de diseño (Westman, 1985: 3-5; Buckley, 1989: 19). Los avocados a la arquitectura verde consideran que los impactos pueden referirse a hectáreas de tierra agotada y erosionada, kilowatts-horas de energía, litros de agua usada, materiales, toxinas y desperdicios usados y producidos por un diseño. Sus seguidores establecen que la contabilidad ecológica requiere que definamos horizontes de espacio y tiempo para nuestra búsqueda. Esto implica identificar los impactos desde la extracción de la materia prima, su transformación, distribución, almacenamiento, uso, y su posible reciclamiento o desecho.

Para estos fines, primero es conveniente considerar que cuando una industria reduce el contenido de materia prima y energía de un producto, ahorra costos por unidad de producción y reduce emisiones contaminantes y desperdicios (McNeill: 158-161). En la presente investigación se considerará a la energía contenida en los materiales y componentes, como el indicador de impacto al ambiente. La cantidad de energía que se consume para producir varios materiales de construcción ha sido definida por investigadores y arquitectos (Mazria, 1979: 122; Pearson, 1989: 128-129; Van der Ryn, 1996: 96). El cuadro 2 muestra diversos materiales y la cantidad de energía usada para fabricarlos.

Los materiales que menos energía usan por kilogramo son la arena y la grava, con 17 kcal/kg; los componentes que menos energía gastan son el bloque de tierra estabilizada y el "ladrillo"; por el contrario, el bloque de "hormigón" (concreto) gasta casi 10 veces más energía que el "ladrillo" y aún más en comparación con el bloque de tierra. Pearson y Van der Ryn resumen que la madera es el material que menor cantidad de energía consume en su proceso fabricación-distribución-uso: 639 kilowatts-hora por tonelada. Lo siguen el tabique (que consume cuatro veces la cantidad para la madera), el concreto (cinco veces), el plástico (seis), el vidrio (14), el acero (24) y el aluminio (126).

Una limitante para efectuar estudios de impacto ambiental es la complejidad de la dinámica de los ecosistemas, y la brecha entre los factores social, ecológico y económico. No obstante, un factor que es común a estas tres variables es la energía y su consumo. Por lo cual, este estudio la tomó como el criterio unificador de las variables, así como, el referente para

Cuadro 2
Materiales de Construcción y la Energía Usada
para Fabricarlos

Material	Energía de fabricación	
	Kcal/kg	Kcal/unidad
Lámina de acero ¹	11,096	
Aluminio ¹	62,597	
Cobre ¹	18,969	
Hormigón ²	229	
Cemento ¹	2,086	
Arena y grava ¹	17	
Plomo ¹	11,381	
Bloque de hormigón ²	—	3,830 por bloque
Silicona, metales y aceros especiales ¹	55,009	
Vidrio ¹	6,354	
Láminas de titanio ¹	132,781	
Plásticos ¹	2,276	
Muro de piedra en seco ²	1,200	
Placa aislante ²	—	12,199 por m ²
Pintura ²	2,297	
Madera de amar ¹	—	9,148 por m ³
Papel ¹	5,595	
Acabado de cubierta impermeabilizada ²	—	4,153 por m ²
Placas vinílicas ²	4,444	
Ladrillo ³	77	379 por ladrillo
Bloque de tierra estabilizada con 10% de cemento ³	19	94 por bloque

FUENTES: 1. A. B. Maklujani y A. J. Lichtenberg, *Energy and Well-Being*, p. 14; 2. Robert A. Kegel, *The energy intensity of building materials*, p. 39; 3. Andrew Mackillop, *Low energy housing*, p. 8.

evaluar los materiales de construcción. Asimismo, los métodos de evaluación cuantitativos o cualitativos sobre impacto ambiental son costosos y requieren de largo tiempo para ser bien desarrollados. En nuestro país, otra dificultad para aplicar este tipo de estudios son la escasa información de análisis en el ciclo de vida de los materiales, de materiales y componentes producidos con otros reciclados de la legislación y, la principal carencia, de residuos enviados a los mantos acuíferos, al suelo y toxicidad de los materiales (Finkelman, en Leff, 1990: 581-583). Por todo esto, este trabajo se enfocó a *prevenir* impactos en el ambiente causados por los materiales de construcción.

En la presente investigación, el término *impacto* denota el efecto o resultado de la acción o actividades del ser humano. *Ambiente* se refiere tanto a las características tangibles o estructuras de los ecosistemas (esto es, aire, plantas, animales, suelo) como al intercambio de energía y materiales entre los componentes de los ecosistemas, o sea, la dinámica de su interacción. La *evaluación* se entiende como una operación subjetiva o normativa que depende de la aplicación de valores humanos, e implica determinar el significado de los efectos en las partes afectadas. A continuación se explica la metodología

usada en la investigación. Después se presentan los resultados y las conclusiones. El artículo termina con el apéndice.

Método

Puesto que para el potencial propietario de vivienda el costo es su primera prioridad, esta investigación aplicó el criterio cuantitativo. Para prevenir el probable impacto que puede ocasionar la especificación de un material, se aceptó que los impactos pueden referirse a kilowatts-horas de energía utilizada en la fabricación del material, por lo cual este criterio se incluyó en el método. Este método involucra los siguientes pasos:

1. Identificar materiales locales y su costo,
2. Preselección de materiales de acuerdo al menor contenido de energía,
3. Cotejar los precios unitarios de un elemento constructivo, para cada material preseleccionado, y
4. Seleccionar el material.

El primer paso es vital para reducir impactos. Esto es particularmente cierto cuando la construcción se desarrolla en zonas alejadas de centros urbanos, o con recursos limitados como las zonas áridas o semiáridas. En este primer paso el arquitecto favorece la participación de su "cliente" o a quien está diseñando; el profesional le solicita, o sugiere, los materiales que se sabe existen en la localidad. Esta identificación de materiales implica conocer si son producidos en el país o se importan, y si el fabricante proporciona información técnica sobre su producto. Un material importado no necesariamente es más caro y puede existir información técnica suficiente acerca del mismo. Lo que interesa en esta fase es que el material exista en cantidades suficientes en el lugar. Una vez elaborada una lista se procede al segundo paso.

La preselección de materiales consiste en determinar la cantidad de energía contenida en el (los) material (es) por usar. Esto se puede hacer usando el cuadro 2 antes mostrado. El cuadro 1 puede proporcionar el arquitecto a su cliente desde el inicio del diseño, explicándole el criterio de selección: los materiales con menor contenido de energía serán la primera opción. En el tercer paso se comparan los materiales preseleccionados contra los precios unitarios (PU) de un mismo elemento. Un buen número de PU pueden encontrarse en tabuladores del sector público, o en catálogos de empresas. Si no existiesen, se elaboran por el procedimiento comúnmente empleado. En el cuarto paso se selecciona el elemento cuyo material contiene la menor cantidad de energía y que al construirlo cuesta menos, o sea con el menor PU.

A continuación se comparan dos componentes para un mismo elemento: un muro. Los componentes son el bloque de concreto y el tabique de barro multiperforado. El bloque de concreto seleccionado posee medidas 15 x 20 x 40 cm y el tabique multiperforado 6 x 12 x 24 cm. El primero es ampliamente usado en la vivienda social y se ha ido constituyendo como una selección del autoconstruccionista en la etapa de consolidación o permanencia en el proceso de apropiación de su



Vivienda bioclimática construida con sistema alternativo.

vivienda. El segundo componente también es usado por el sector público (principalmente el Fondo Nacional de Habitaciones Populares, Fonhapo) aunque parece que no es conocido popularmente. No obstante, gente de estratos sociales medios y altos lo aceptan para la construcción de su vivienda al saber de su mayor resistencia a esfuerzos y a los fenómenos naturales. Ambos componentes se fabrican en diversos estados de México. En la ciudad de México, el costo de éstos por pieza son: de \$2.40 para el bloque y \$0.62 para el tabique (ver el apéndice).

Para efectuar el segundo paso del método se verificó en el cuadro 2 el contenido de energía de los dos componentes. El contenido de energía en kcal/pza. de cada uno es: 3,830 para el bloque de concreto, 379 el "ladrillo". Por lo tanto el tabique es menos contaminante o ecológicamente benigno. El tercer paso requiere conocer el precio unitario (PU) de un muro construido con cada tipo de componente. Se revisaron dos catálogos del sector público: el de la Coordinación Sectorial de Normas, Especificaciones y Precios Unitarios (Conepu) y

el del Fideicomiso de Vivienda, Desarrollo Social y Urbano (Fividesu). Se encontró el correspondiente al bloque de concreto, pero no el del tabique multiperforado. Por lo tanto se procedió a realizar el análisis de los PU con los costos de materiales mencionados, y con rendimiento para materiales y mano de obra establecidos por el analista de precios unitarios. Los PU (a costo directo) obtenidos fueron: \$68.50 para el bloque de concreto y \$63.37 para el tabique (hojas dos y tres del apéndice). De acuerdo con los datos anteriores, en el cuarto paso se seleccionaría el tabique multiperforado.

Resultados y conclusiones

En los tres aspectos estudiados: costo, consumo de energía y PU, el bloque de concreto excede al tabique. Para analizar mejor esto, se determinará un índice entre los dos componentes. Este índice se obtiene dividiendo el valor mayor entre el menor. En el caso del costo sería: $2.4 \div 0.62 = 3.87$. Los índices para los otros aspectos serían: energía: 10.10; PU: 1.08. Se puede observar que el índice mayor se refiere al consumo de energía, y que los índices disminuyen con el proceso producción-distribución-uso. Lo anterior sugiere varios aspectos: primero señala que los costos en el mercado no representan directamente la cantidad de energía usada para producir los componentes. Esto puede reafirmarse si notamos que el índice por volumen es de 7.05 favoreciendo al bloque.

Por otra parte, no se puede afirmar que ambos componentes son aceptados socialmente. Esto es particularmente cierto para el tabique multiperforado. Una causa de esto es la apariencia rústica y monótona que implica su acabado aparente. En tanto, el bloque de concreto está reemplazando tanto a materiales tradicionales como el tabique común, como a los provisionales usados en los asentamientos espontáneos. Pero es necesario notar que por usar cemento en su fabricación y consumir más energía en su fabricación, este componente no puede considerarse ecológicamente benigno. En síntesis, el bloque de concreto es más caro, más contaminante y, por consiguiente, menos económico. Por el contrario, el tabique multiperforado es económico y ecológicamente benigno.

Finalmente, es muy importante enfatizar que el cuadro 2 nos indica que el bloque de tierra estabilizada con cemento al 10%, el cual se usa también para muros, consume 94 kcal/pza., una cantidad mucho menor que los otros dos componentes analizados. Lo anterior es también interesante porque otra investigación originada por la necesidad de reducir el costo directo —y, por consiguiente, el de venta— sin disminuir el área de la vivienda, desarrolló un sistema a base de bloques de tierra estabilizada o geo-block, como lo nombró la empresa (entrevista con el arquitecto G. Urquidí). De acuerdo con los informes de la empresa Concepto, S. C., al utilizar el adobloque como muros de carga, se redujo 20% el costo directo en comparación con el convencional de muros de block de concreto. El bloque fue fabricado casi totalmente con arcilla: 60% arcilla, 20% limo y 20% arcilla con granulometría grue-