

La huella ecológica como

IDENTIFICADOR DE SUSTENTABILIDAD

en la arquitectura

ARQ. ZINAR ZEPEDA NATAREN
Arquitecto y Especialista en Construcción por la
Universidad Autónoma de Chiapas
zinar_zepeda@hotmail.com

DR. EN CIENCIAS DE LA ING. AMBIENTAL
HUGO ALEJANDRO GUILLÉN TRUJILLO

Profesor e investigador de la Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de Chiapas
hguillen@unach.mx

Recibido: Octubre de 2008.
Aceptado: Abril de 2009.

RESUMEN

El presente trabajo es una muestra de cómo a partir de los costos energéticos de los edificios y mediante la aplicación de un instrumento denominado Huella Ecológica, puede establecerse de manera numérica la relación existente entre las construcciones y los sistemas naturales, de tal modo que la comparación entre la demanda que éstas hacen en términos ambientales y la capacidad biofísica disponible en un territorio específico, pueda usarse como un indicador de sustentabilidad en Arquitectura.

Palabras claves: Huella ecológica, arquitectura, sustentabilidad.

ABSTRACT

This work is a sample of how beginning from energy cost of buildings and through the application of an instrument denominated footprint, can be established, in numerical way, the existent relationship between constructions and natural systems, so that the comparison between the demand of the former in environmental terms and the biophysical capacity of an specific territory can be used as an indicator of sustainability in Architecture.

Key words: Footprint, Architecture, sustainability.

INTRODUCCIÓN

Es innegable que el concepto de *sustentabilidad* se ha ido gradualmente introduciendo en la arquitectura y los diversos campos relacionados con la construcción, de tal manera que la idea actual de lo que es una *arquitectura sustentable*, se entiende de modo generalizado, como aquella que busca concretar un proyecto arquitectónico por medio de un mayor aprovechamiento de los recursos naturales y la disminución del impacto ambiental.

Si bien en este contexto han surgido diversos planteamientos de cómo lograr diseños de edificios sustentables, la amplia y a veces divergente gama de soluciones aplicables ha traído como consecuencia, la creación de un escenario en donde la noción de lo que es o no sustentable parece ya no estar tan clara.

Ante esta circunstancia y para fines de definir más atinadamente qué significa sustentabilidad en arquitectura, cómo puede medirse y sobre qué aspectos aplica esta medida, este trabajo reflexiona en torno a tales cuestionamientos, a través de la introducción del concepto de la *Huella Ecológica* a dicha disciplina. Para ello, se consideran los flujos energéticos necesarios para construir y operar un edificio a lo largo de su ciclo de vida, que se transforman por medio de los *cocientes energía/tierra*, en la correspondiente porción de naturaleza requerida para sostenerlos durante ese tiempo.

EL CONCEPTO DE LA HUELLA ECOLÓGICA

De acuerdo con sus propios autores Mathis Wackernagel y Willian Rees, la Huella Ecológica es una herramienta de planificación que partiendo de la premisa de que la humanidad constituye un subsistema inmerso en la biosfera, el cual ayuda a traducir las preocupaciones por la sustentabilidad en acciones públicas concretas, ya que toma en cuenta los flujos de recursos materiales y energéticos desde y hacia cualquier economía o actividad específica, y los convierte en la correspondiente superficie de tierra y agua requerida por la naturaleza para sostener esos flujos. (Ver Figura 1)



Figura 1. Visualización del concepto de la Huella Ecológica. Diagrama del autor con base en Wackernagel y Rees (1996: 65)

Como instrumento contable, el análisis de la Huella Ecológica permite estimar los requerimientos de una determinada población o economía, en términos de consumo de recursos y asimilación de desechos, expresados en *áreas de tierra ecológicamente productiva*; que son todas aquellas porciones del planeta (sean agua o suelo) que pueden realizar funciones de soporte vital para el hombre o tener o brindar algún provecho en su manutención. Básicamente, se consideran ocho tipos o *categorías de tierra* en los cálculos de la Huella Ecológica, las cuales van desde las que sirven para la provisión de la energía y los alimentos consumidos por la humanidad, pasando por las que se emplean en la construcción de las ciudades y la asimilación de sus desechos y hasta aquellas que son necesarias para la preservación de la biodiversidad. (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Principales categorías de tierra y uso de suelos para las evaluaciones de la Huella Ecológica (Wackernagel y Riss, 1996: 137)

Categorías de tierra		Uso de suelos
I.- Tierra en términos energéticos	1.- Tierra apropiada para el uso de energía fósil	Tierra para observar las emisiones de CO ₂ o para producir combustible biológico sustituto
II.- Tierra consumida	2.- Medio ambiente construido	Tierra degradada
III.- Tierra actualmente en uso	3.- Huertos	Medio ambiente construido reversible
	4.- Tierras de cultivo	Sistemas modificados
	5.- Pastizales	
	6.- Bosques con manejo	
IV.- Tierra de disponibilidad limitada	7.- Bosques vírgenes	Ecosistemas productivos naturales
	8.- Áreas no productivas	Desiertos, zonas de hielo

Para entender mejor el concepto de la Huella Ecológica, imagínese qué le ocurriría a cualquier ciudad o zona urbana definida ya sea por sus límites políticos, el área de terrenos construidos o la concentración de sus actividades socioeconómicas, si ésta fuera encapsulada en una semiesfera de vidrio o plástico, de tal manera que dejara pasar la luz, pero impidiera el ingreso y la salida de objetos materiales de cualquier tipo, tal y como fue concebido el proyecto Biosfera 2. (*Ibid.*, 26)

Puesto que la salud e integridad de una ciudad así encapsulada dependería enteramente de lo que al inicio estuviera dentro de la semiesfera, resulta lógico pensar que en estas condiciones dicha ciudad dejaría de funcionar en pocos días, ya que su población y su economía se verían mutiladas del suministro de recursos vitales y de los sumideros esenciales, muriéndose de hambre y ahogándose al mismo tiempo, debido a que los ecosistemas comprendidos en este *terrarrium* imaginario, tendrían una escasa "capacidad de carga" como para soportar el peso ambiental impuesto por la población humana allí encerrada. (Wackernagel y Rees, 1996: 27)

Si bien este ejercicio mental pone de manifiesto de forma abrupta la constante vulnerabilidad ambiental de la humanidad, imagínese ahora que nuestra ciudad encapsulada está rodeada por un paisaje diverso en el que todos los tipos de suelos ecológicamente productivos (pastizales, cultivos, bosques, humedales, etc.) estuvieran representados proporcionalmente a su abundancia actual en el planeta; que hubiera disponibilidad de una cantidad suficiente de energía fósil para mantener los niveles presentes de consumo utilizando la tecnología vigente y además, considerando que la semiesfera que la cubre fuera elástica y extensible, en cuánto debería crecer dicha cápsula para que la ciudad en ella contenida pudiera sostenerse de manera indefinida, basándose exclusivamente en los recursos energéticos y en los ecosistemas de tierra y agua existentes en su interior, o en otras palabras, cuál es el área total de tipos de ecosistemas naturales o territorios ecológicamente productivos necesarios de modo continuo para soportar la carga del conjunto de actividades sociales y económicas llevadas a cabo diariamente por los residentes de esta ciudad. (*Idem*)

Por definición, el área total de ecosistemas que una ciudad requiere para su supervivencia corresponde *de facto* a su Huella Ecológica en el planeta, siendo ésta evidentemente proporcional tanto a la población como al consumo de recursos per cápita en la zona de estudio. En ese sentido, puesto que la Huella Ecológica toma en cuenta flujos materiales y energéticos pertenecientes a un conjunto de circunstancias específicas, sus estimaciones pueden hacerse a escala individual, regional o mundial; o como en este caso, aplicarse a una actividad concreta como lo es la arquitectura. (*Ibid.*, 28)

LA HUELLA ECOLÓGICA EN LA ARQUITECTURA

Tabla 2. Cocientes energía / tierra o productividades de distintas fuentes energéticas (Wackernagel y Rees, 1996: 138)

Fuente de energía	Cociente energía/tierra o productividad [en gigajoules/hectárea/año (gj/ha/año)]	Huella Ecológica por cada 100 gigajoules consumidos al año [en hectáreas/año (ha/año)]
Combustibles fósiles		
1 ^{er} enfoque: sustitutos	80	1.250
2 ^{do} enfoque: absorción de CO ₂	100	1.000
3 ^{er} enfoque: remplazo de biomasa	80	1.250
Hidroelectricidad		
Represas río arriba	hasta 15,000	hasta 0.007
Represas río abajo	de 150 a 500	de 0.200 a 0.667
Promedio	1,000	0.100
Electricidad fotovoltaica	1,000	0.100
Energía eólica	12,500	0.008
Energía nuclear	más de 50,000	menos de 0.002
Energía solar	hasta 40,000	hasta 0.003

En cuanto al modo en el que la Huella Ecológica puede aplicarse a la arquitectura, éste consiste básicamente en cuantificar los flujos energéticos de la construcción y la operación de los edificios, transformándolos a la “categoría de tierra” correspondiente que se necesita para sostenerlos durante ese período. Se parte de la consideración de los cocientes energía/tierra, cuyos valores describen cuánta de la energía utilizada al año en cualquier actividad podría ser proporcionada por una hectárea de suelo ecológicamente productivo. La tabla 2 contiene los cocientes energía/tierra de las principales fuentes energéticas¹. (*Ibid.*, 138)

Con base en estos valores, la transformación de los flujos energéticos de un edificio en territorio ecológicamente productivo consiste en un procedimiento realmente muy sencillo, aunque no por ello carente de significado. Para hacer este cálculo, obviamente es necesario conocer con anticipación los costos energéticos de la construcción y de la operación del edificio en cuestión, así como el origen de las distintas fuentes que fueron o serán requeridas para proporcionarlos.

Utilizando aquí como ejemplo los resultados obtenidos por el Centre d’Iniciatives per a L’Edificació Sostenible en cuanto a que cada metro

1. El modo en el que los cocientes energía/tierra se calculan puede consultarse en la obra de Wackernagel y Rees, *Nuestra Huella Ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la Tierra*.

cuadrado de edificio supone un costo energético de 9,000 megajoules en su construcción y los del Institut Català de L'Energia que expresan que el consumo anual de una vivienda estándar de 100 metros cuadrados es de 43,200 megajoules, equivalente a 432 megajoules por metro cuadrado; el resultado es que este edificio tiene un flujo energético anual correspondiente a su construcción y operación igual a 582 megajoules por metro cuadrado, esto suponiendo que tiene una vida útil de 60 años. La pregunta aquí, con base en tales valores es ¿Cuál es el territorio ecológicamente productivo necesario para sostener este flujo energético?, o en otras palabras ¿Cuál es la Huella Ecológica de esta vivienda? (Cuchí, 2003: 4)

Independientemente de la fuente energética, el territorio ecológico productivo necesario para sostener esta vivienda es igual a la relación entre el valor de su flujo energético anual y el cociente energía/tierra correspondiente. Así, si la energía utilizada para construir y operar la vivienda procede en su totalidad de los combustibles fósiles, cada metro cuadrado del edificio demandará durante su vida útil una superficie boscosa de 58.20 a 72.75 metros cuadrados, dependiendo del enfoque que se esté empleando. Dicho de otra manera, para que esta vivienda sea sustentable desde la perspectiva de la energía, cada uno de sus 100 metros cuadrados requerirá en su período de vida ya sea de la preservación de 58.20 metros cuadrados de zonas boscosas para asimilar sus emisiones anuales de CO₂ o del cultivo anual de 72.75 metros cuadrados de tierra para la producción de combustibles sustitutos o para la acumulación de energía de biomasa.

Por otro lado, si la energía usada en esta vivienda procediera de fuentes energéticas más productivas, el territorio ecológicamente productivo necesario para sostener sus flujos energéticos disminuirá en función de los respectivos cocientes energía/tierra de esas fuentes. Así pues, suponiendo que sea la hidroelectricidad o la electricidad fotovoltaica la que proporciona en su totalidad la energía requerida por dicha vivienda, el territorio ecológicamente productivo demandado sería de 5.82 metros cuadrados por cada metro cuadrado construido. Del igual modo, esta superficie sería de 0.47 metros cuadrados si la energía procediera de generadores eólicos; de 0.12 metros cuadrados si procediera de la energía nuclear y de 0.15 metros cuadrados si procediera del sol.

Es obvio que en la construcción y operación de los edificios, las fuentes energéticas que intervienen son diversas, aunque aquí se considera que la energía procede una sola, dado que lo que se pretende es dar a conocer el potencial de la Huella Ecológica como indicador de la sustentabilidad en la arquitectura y no hacer un cálculo de manera

exacta. No obstante, con el afán de hacer una estimación más precisa, se tomará en cuenta que de acuerdo con los datos aportados por el Institut Català de L'Energia, de los 43,200 megajoules que dicha vivienda consume al año, la contribución según las fuentes energéticas en ese costo es la siguiente: la electricidad participa con una cantidad de 27,720 megajoules al año, tomando en cuenta que es la fuente más probable para proporcionar los servicios de calefacción e iluminación, así como para el funcionamiento de los aparatos electrodomésticos; los combustibles fósiles proporcionan los 15,480 megajoules restantes, esto reflexionando que son sus derivados los de mayor empleo para calentar el agua y cocinar.

En cuanto al costo energético de su construcción, puesto que se carece de información para estimar el modo en el que las fuentes participan en él, pero se sabe de manera general que son los combustibles fósiles los que proveen casi el 90% de dicho costo, se contemplará, para no entrar en detalles, que los 900,000 megajoules que cuesta construir esta obra, son suministrados en su totalidad por tales combustibles. (Cuchí, 2003: 5)

Con base en la reflexión anterior y recordando que el período de vida de la vivienda que sirve de ejemplo es de 60 años, su flujo energético anual dividido según las fuentes de energía que participan en él comprende 30,480 megajoules de combustibles fósiles y 27,720 megajoules de electricidad, lo que es igual a que cada metro cuadrado contenga 304.80 megajoules de combustibles fósiles y 277.20 megajoules de electricidad. (Ver Tabla 3)

Flujo energético anual según la fuente de energía [en megajoules (mj)]					
Servicio	Combustibles fósiles		Servicio	Electricidad	
	Edificio (100 m ²)	Por cada 1 m ²		Edificio (100 m ²)	Por cada 1 m ²
Agua caliente	11,520	115.20	Calefacción	18,000	180.00
Cocina y horno	3,960	39.60	Electrodomésticos	7,560	75.60
Construcción	15,000	150.00	Iluminación	2,160	21.60
TOTAL	30,480	304.80	TOTAL	27,720	277.20

Tabla 3. Estimación del flujo energético anual de una vivienda estándar de 100 m² según sus fuentes de energía. Tabla de autor con base en Chuchí (2003: 5)

Tomándose como válidos estos valores y transformándolos mediante la aplicación de los correspondientes cocientes energía/tierra en el área necesaria para sostenerlos, el resultado es que cada metro cuadrado de la vivienda demanda una extensión de 33.25 metros cuadrados de territorio ecológicamente productivo para que sea sustentable, de los cuales, 30.48 metros cuadrados son requeridos por el uso de combustibles fósiles (optando por su 2° enfoque que es el de mayor productividad) y 2.77 metros cuadrados por el empleo de electricidad.

Por consecuencia de lo anterior, si cada metro cuadrado de la vivienda requiere de 33.25 metros cuadrados de suelo productivo, el edificio completo exige una superficie de 3,325 metros cuadrados para poder sostener sus flujos energéticos, lo que significa que tiene una Huella Ecológica un poco mayor a 0.33 hectáreas. En números cerrados se necesita de un territorio ecológicamente productivo en forma cuadrada con lados de 58 metros para que esta vivienda sea sustentable, lo que proporcionalmente se aproxima a las dimensiones de la Figura 2.



Figura 2. Proporción entre una vivienda de 100 m² y su respectiva Huella Ecológica.
(Diagrama del autor)

Aunque a primera vista esta proporción puede resultar un tanto difícil de asimilar, si se considera que de acuerdo al Balance Nacional de Energía en su edición 2004, cada individuo en México consumió en ese año: respecto a la industria del cemento, 1.15 gigajoules de combustibles fósiles y 0.14 gigajoules de electricidad; respecto a la industria de la construcción, 0.06 gigajoules de combustibles fósiles y 0.01 gigajoules de electricidad; y respecto al sector residencial y comercial, 3.86 gigajoules de combustibles fósiles, 1.87 gigajoules de electricidad y 2.50 de energía de biomasa; los requerimientos de suelo de estas cantidades son de 0.084 hectáreas por persona. Así, considerando que la vivienda del ejemplo está habitada por una familia de cuatro personas, la suma de los usuarios produce una demanda de tierra de 3,360 metros cuadrados, lo que es muy próximo a la Huella Ecológica de la vivienda calculada a partir de la energía usada en su construcción y operación.

Para tener una arquitectura sustentable debería estar conservándose o recuperándose 35.25 metros cuadrados de tierra boscosa por cada metro cuadrado construido para soportar los correspondientes flujos energéticos, dado que la arquitectura se encuentra compitiendo con otras actividades por un mismo espacio ecológico, haciéndose propuestas de edificios con Huellas Ecológicas cada vez menores.

CONCLUSIONES

Aunque es evidente que en los últimos años los estudios en torno a la sustentabilidad de la arquitectura han ido poco a poco en aumento, la mayoría de ellos hace referencia a técnicas o procedimientos destinados a reducir el impacto ambiental de las construcciones, pero sin dilucidar mucho en aspectos intelectuales con relación a lo que es o no sustentable. Al respecto, aun cuando existen investigaciones que buscan resolver el dilema desde la óptica del costo energético, la forma en la que éstas comúnmente se expresan tampoco permite identificar si un construcción es o no sustentable, debido a que si bien la cantidad de energía empleada en un edificio puede engendrar cierta idea de su impacto, el costo energético como tal no indica realmente en qué medida la capacidad de la naturaleza puede soportar las exigencias ambientales derivadas de dicho costo. En todo caso, el costo energético de las construcciones sólo sirve para establecer comparaciones entre un edificio y otro en términos de cuál es el menos consumidor de energía y consecuentemente el de menos impacto ambiental.

No obstante lo anterior, es innegable que en la puesta a punto de lo que puede o no considerarse como un edificio sustentable, el costo energético representa un conjunto de valores de gran utilidad que puede emplearse en otros instrumentos en donde el calificativo de "indicador de sustentabilidad" se use con mayor autenticidad, tal y como sucede con la Huella Ecológica, cuya aplicación a la arquitectura ha dado origen a este trabajo y con el que ha podido ilustrarse de manera más clara el vínculo entre las construcciones y los sistemas ambientales, así como la importancia que tiene reducir los costos energéticos de las construcciones o cambiar a fuentes con cocientes energía/tierra con más productivas y por lo tanto con Huellas Ecológicas más pequeñas.

En ese sentido, conviene mencionar que puesto que en la actualidad los combustibles fósiles son los de mayor consumo en el mundo, lograr edificios con menores Huellas Ecológicas implica: primero, mejorar la geometría o el diseño arquitectónico; luego, aumentar la eficiencia de los materiales empleados sin aumentar los costos energéticos de fabricación o, bien, disminuyendo estos costos sin disminuir la eficiencia y, finalmente, incrementar la durabilidad de las construcciones.

FUENTES DE CONSULTA

BIBLIOGRAFÍA

1. Wackernagel, Mathis y William Rees (1996), *Nuestra huella ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la tierra*, traducción de Bernardo J. J. Reyes Ortiz (2001), Santiago de Chile: IEP/ Lom Ediciones.

INTERNET

1. Cuchí, Albert (24 de Enero de 2003), “Los flujos de energía en la edificación”, en *Acercamiento a criterios arquitectónicos ambientales para comunidades aisladas en áreas naturales protegidas de Chiapas*: <http://www.tapic.info/arquitectura.medioambiental/chiapas/default.htm>, Tuxtla Gutiérrez.
2. Secretaría de Energía (SENER, Diciembre de 2005), “Balance nacional de energía 2004”, en *Publicaciones de la Secretaría*: <http://www.sener.gob.mx>.

OTRA FUENTE

1. Zepeda Nataren, Zinar (2007), “Acercamiento a la transformación de la energía que se usa en la construcción y operación de edificios, en territorio ecológicamente productivo, como parámetro de un arquitectura sustentable”, Tesis de Especialidad, Tuxtla Gutiérrez: Universidad Autónoma de Chiapas.