

# Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10x10 Con Techo-Chiapas del CYTED

## *Analysis of the environmental impact associated with the materials of construction used in the low cost houses of the program 10 x10 With Roof-Chiapas of the CYTED*

Teresa del Rosario Argüello Méndez\*, Albert Cuchí Burgos\*\*

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es el análisis del impacto ambiental de los materiales de construcción utilizados en la edificación de las diez viviendas de bajo coste construidas dentro del Programa 10x10 Con Techo-Chiapas, propuestas por los investigadores del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), para verificar si estas propuestas tecnológicas de techumbres son medioambientalmente más sostenibles que el sistema constructivo de techo más demandado en la región central de Chiapas. Con el apoyo de los datos medioambientales proporcionados en el banco BEDEC PR/PCT del Instituto de la Construcción de Cataluña (ITeC), y siguiendo el modelo metodológico aplicado en el análisis del impacto ambiental de los materiales constructivos en la isla de Lanzarote, se ha evaluado cada producto constructivo de dichas viviendas a lo largo de su ciclo de vida, con el fin de precisar la interacción de los productos con el medio: el costo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>. Los resultados obtenidos nos muestran que las tecnologías cuyo material base son el ladrillo común y mortero, el hormigón y el ferrocemento no representan un ahorro significativo en el empleo de las cantidades de materiales en las techumbres de áridos, cemento, acero y agua, y, en consecuencia, resultan con impactos ambientales similares a la vivienda de referencia. Con el empleo de cantidades de energía y con emisiones de CO<sub>2</sub> muy superiores a las resultantes en la construcción de los techos con estructuras de madera y tejas cerámicas.

113-82

**Palabras clave:** materiales, impacto ambiental, vivienda, análisis de ciclo de vida.

### SUMMARY

*The objective of the present work is the analysis of the environmental impact of the construction materials used in the building of ten low cost houses constructed within the Program 10x10 With Roof-Chiapas, propose by the investigators of the Ibero-American Program of Science and Technology for Development (CYTED), to verify if these technological proposals of roof are environmentally more sustainable than the constructive system of the roof most demanded in the central region of Chiapas. With the support of the environmental information provided in the database BEDEC PR/PCT of the Institute of the Construction of Catalonia (ITeC), and following the methodological pattern applied in the analysis of the environmental impact of the constructive materials in Lanzarote's island, there has been evaluated every constructive product of the above mentioned housings along their life cycle assessment (LCA), with the purpose of specifying the interaction of the products with the environment: the energy cost and emissions of CO<sub>2</sub>. The obtained results show us that the technologies which material bases are the common brick and mortar, the concrete and the ferrocemento do not represent a significant saving in the employment of the quantities of materials in the roofs of arid, cement, steel and water, and in consequence, prove with similar environmental impacts to the reference housing. Using quantities of energy and generating emissions of CO<sub>2</sub> higher to the resultants in the construction of the roofs with wooden structures and ceramic tiles.*

**Key words:** materials, environmental impact, housing, life cycle assessment.

\*Universidad Autónoma de Chiapas, México, \*\*Universidad Politécnica de Cataluña, España  
Persona de contacto/Corresponding author: tereargu@hotmail.com (Teresa del Rosario Argüello Méndez)

<sup>1</sup>Lorenzo Gállego, Pedro, coord. "Un Techo para vivir. Tecnología para viviendas de producción social e América Latina", Ediciones UPC, Barcelona, 2005, 559 p.

<sup>2</sup>Cabildo de Lanzarote, "Análisis de los materiales empleados en la edificación en la isla de Lanzarote desde una perspectiva medioambiental", p. 35

<sup>3</sup>Metabase, banco BEDEC PR/PCT, Módulo 7. Gestión ambiental. Informa del consumo de la energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes debidas a la fabricación y transportación de los materiales de construcción.

## 1. INTRODUCCIÓN

Entre los compromisos que plantea el desarrollo sostenible, destaca, como uno de los grandes problemas que actualmente enfrenta y vive la humanidad, especialmente en los países subdesarrollados, la vivienda, tanto en su forma cualitativa (nivel de vida) como cuantitativa (déficit habitacional). Así como que la construcción de pueblos y ciudades consume el 50% de todos los recursos mundiales y genera gran cantidad de residuos.

La cooperación internacional ha tenido una participación importante en la atención a estos problemas. Sobre todo, con el desarrollo de investigaciones abocadas a la transferencia tecnológica e intercambio de información, que, involucrando a la participación ciudadana necesitada de vivienda, contribuyen al progreso del hábitat, nivel de vida y cultura en un marco sostenible. Destaca la participación del CYTED, cuyos últimos trabajos en el tema han sido publicados en el libro "Un techo para vivir".<sup>1</sup> Pero, ¿resultan estas propuestas habitacionales construidas mediante técnicas y procedimientos sostenibles? ¿Cuál ha sido el grado de impacto ambiental ocasionado por sus intervenciones arquitectónicas?

El presente trabajo toma como caso de estudio las diez viviendas experimentales construidas dentro del Programa 10x10 Con Techo en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, realizadas bajo el respaldo tecnológico de los investigadores del CYTED, y analiza el impacto ambiental de los materiales de construcción utilizados en la edificación de dichas viviendas, con la finalidad de determinar si se cumplen con los objetivos planteados por el programa de contribuir a la reducción de costos y al desarrollo de proyectos ambientalmente sostenibles.

Las variables y parámetros de medición de los impactos ambientales fueron determinadas siguiendo el planteamiento metodológico expuesto en el estudio sobre el impacto ambiental provocado por los materiales empleados en la edificación en la isla de Lanzarote<sup>2</sup>, asimismo, se ha recurrido a la base de datos *metaBase* del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC), que en el Banco BEDEC PR/PCT, entre otras informaciones técnicas, proporciona información de los indicadores del impacto ambiental global asociados a la construcción.<sup>3</sup>

## 2. UNA VIVIENDA ADECUADA

El CYTED, en el subprograma HABYTED, promueve prácticas de construcción de viviendas a bajo costo con sistemas constructivos alternativos no convencionales, basados en

el empleo y mejoramiento de materiales y técnicas disponibles localmente con el uso de piezas constructivas de fácil montaje que no requieren conocimientos tecnológicos ni mano de obra cualificada, con sistemas constructivos que puedan ser desarrollados de forma progresiva mediante la autoconstrucción, con la finalidad de contrarrestar el desequilibrio social y mejorar los niveles de vida con la producción de viviendas dignas en los países latinoamericanos.

El trabajo de los investigadores del CYTED, se enfatizó en la solución de la cubierta o techo de la vivienda, con el objetivo de construir fácilmente el elemento más complejo de la vivienda de una manera controlada, con el empleo de materiales y técnicas accesibles y resistentes, además, que sean social, económica y medioambientalmente sostenibles.

En el transcurso del tiempo, se ha originado un cambio en el proceso de obtención de los materiales para la construcción de la vivienda, hasta no hace mucho las sociedades mayoritarias rurales o semiurbanas latinoamericanas obtenían sus materiales en el entorno más próximo con un impacto sobre el territorio relativamente bajo. La aparición de medios de extracción y fabricación más eficientes y potentes, así como un transporte mucho más globalizado por la abundante y barata disponibilidad de energía, hace que la producción de materiales pierda la inmediatez de lo cercano y se convierta en una actividad altamente impactante, no sólo a nivel local, sino global.

## 3. DEFINICIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES, VARIABLES Y PARÁMETROS DE MEDICIÓN

Para conocer el alcance de las modificaciones a la calidad del ambiente ocasionadas por la realización de las viviendas de bajo costo promovidas por el CYTED, en el Programa 10 x10 Con Techo-Chiapas, realizadas en el fraccionamiento "Los Yuquis", en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, los impactos medioambientales analizados a lo largo del ciclo de vida de los materiales son: el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en la fabricación de los materiales y en el transporte al lugar de la obra. Se han tomado estos dos indicadores del impacto ambiental global asociados a la construcción ya que son los más relevantes, puesto que son indicadores del calentamiento global y de la incidencia en la capa de ozono.

La contabilización de los impactos medioambientales asociados al uso de la energía primaria empleada en la fabricación de los

materiales y en la puesta en obra de los mismos, representa un indicador global trascendental ya que los materiales que proveen de la energía requerida en estos procesos generan cantidades de residuos tóxicos importantes, así como alteraciones físicas al medio natural en el que se produce la energía. El gasto energético se expresa en Megajoules (MJ), o en su equivalente en kilo Watt hora (kWh) (1kwh = 3,6 MJ).

La cuantificación de los distintos gases emitidos a la atmósfera, medidos en kilogramos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes producidas, nos informa del potencial de calentamiento global (GWP, siglas en inglés de *Global Warming Potential*) a causa de los diversos gases emitidos durante la producción y puesta en obra de los materiales de construcción Generadores del Efecto Invernadero (GEI): Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>), Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y Clorofluorocarburos (CFC); componentes determinantes del equilibrio térmico del planeta pues controlan los flujos de energía en la atmósfera al absorber la radiación infrarroja emitida por la Tierra, con las consecuentes alteraciones en el patrón del clima y trastornos del ecosistema y la salud humana.

Los instrumentos de cuantificación de impactos ambientales emplean un listado de materiales genéricos usados en la construcción, por lo que es necesario organizar los materiales de construcción de acuerdo al principal material que lo compone. Para elaborar el listado de materiales de construcción utilizados por vivienda, fue necesario determinar los tipos y cantida-

des empleados en la construcción de cada elemento constructivo, a partir de las descripciones de técnicas de los conceptos de obra. Para la realización de este estudio, se han considerado exclusivamente los materiales utilizados para la edificación de la estructura arquitectónica (cimentación, muros y techos, incluyendo puertas y ventanas), sin analizar material alguno de instalaciones eléctricas, hidráulicas o drenaje. Dada la simplicidad de los sistemas constructivos elegidos, el número de materiales genéricos empleados es reducido y fácilmente identificable (Tabla 1).

Determinado el listado de materiales básicos, se calcularon las cantidades de cada material empleado en la construcción de cada una de las viviendas experimentales en estudio, organizando la información disponible y convirtiendo las cantidades de medición de los diferentes materiales a kilogramos, unidad de medida requerida por los sistemas de evaluación de impacto ambiental.

Puesto que no se cuenta con una base de datos sobre los diferentes impactos medioambientales que provocan los materiales de construcción empleados en la edificación de viviendas en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; se ha recurrido a la base de datos *metaBase* del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC), BEDEC PR/PCT.<sup>4</sup> Comparando las características de cada material empleado en la construcción de las viviendas del Programa 10x10 Con Techo-Chiapas, con las enlistadas en la base de datos, seleccionamos aquellos materiales básicos que guardaran características, tanto en sus materias primas como procesos de

<sup>4</sup>Los datos medioambientales del banco BEDEC PR/PCT se obtuvieron mediante el análisis ACV con el método Simapro 6.0 creado por la consultora ambiental Pré Consultants.

**Tabla 1. Materiales genéricos**

Material genérico	Listado total de materiales	
<b>Acero</b>	Acero galvanizado Acero laminado	Varilla Alambrito Alambrón Armex (elemento presoldado) Clavo Malla lac (elemento presoldado) Malla de gallinero
<b>Agua</b>	Agua	Agua
<b>Árido</b>	Árido  Piedra natural	Arena de río Tierra natural de la región (Caliche) Grava de río Piedra natural de la región
<b>Asfaltos</b>	Fieltro asfáltico	Fieltro asfáltico (impermeabilizante)
<b>Cal</b>	Cal	Calhidra
<b>Cemento</b>	Cemento	Cemento gris Portland
<b>Cerámica</b>	Cerámica	Ladrillo rojo común Teja de barro industrializada
<b>Diesel</b>	Diesel	Diesel
<b>Fibras naturales</b>	Fibra vegetal	Caña maíz
<b>Pinturas</b>	Pinturas vinílica	Pintura vinílica
<b>Madera</b>	Madera	Madera de pino de 2ª.
<b>Resinas</b>	Resinas acrílicas	Resinas acrílicas elastoméricas (impermeabilizante)

**Tabla 2. Resumen de los impactos medioambientales por material, de mayor a menor cantidad**

Coste energético por kg de materia			Emisión de CO <sub>2</sub> por kg de materia	
Material	MJ	KWh	Material	kg
Resinas	110.000	30.560	Resinas	16.280
Asfaltos	55.280	15.360	Asfaltos	8.140
Acero	35.000	9.720	Pintura	3.640
Pintura	24.700	6.860	Acero	2.800
Diesel	10.100	2.805	Cemento	0.410
Cemento	4.360	1.211	Cal	0.320
Cal	3.430	0.953	Cerámica	0.180
Cerámica	2.321	0.645	Madera	0.060
Madera	2.100	0.583	Áridos	0.007
Áridos	0.100	0.028	Diesel	0.003
Agua	0.050	0.014	Agua	0.000
Fibras naturales	Neutro	Neutro	Fibras naturales	Neutro

**Tabla 3. Cimientos y muros**

<p><b>Vivienda de ladrillo rojo común confinado con hormigón armado.</b> Cimientos de piedra braza asentadas con mortero y cadenas de hormigón armado. Paredes de albañilería convencional, con ladrillo rojo común de la región confinado con una estructura de hormigón armado</p>	
<p><b>Vivienda con estructura de madera y muros de bahareque</b> Cimientos de piedra braza con estructura de madera, rodapié de ladrillo común de la región asentado con mortero y muros de bahareque con un espesor de 10 cm de caña maíz y embarrado mejorado con cemento, reforzado con malla gallinero.</p>	

producción, lo más similares posibles a los materiales que nos interesan, para establecer los impactos ambientales asociados a la construcción de las viviendas referidas.

Además, se ha considerado la energía requerida para transportar los materiales empleados desde las fábricas hasta el sitio de construcción, así como las cantidades en kilogramos de CO<sub>2</sub> emitidas en este proceso (Tabla 2).

#### 4. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

De las diez viviendas de 36 m<sup>2</sup> construidas en el Programa 10x10 Con Techo-Chiapas, ocho se edificaron con cimientos y paredes de albañilería convencional, con ladrillo rojo común confinado con hormigón armado, diferenciándose solamente en el techo, y dos más, construidas con la técnica de bahareque mejorado en muros, y techumbre con

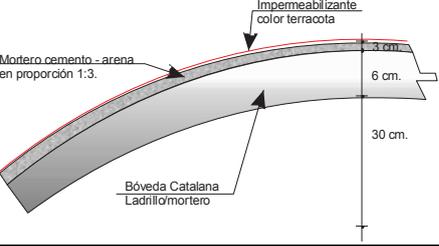
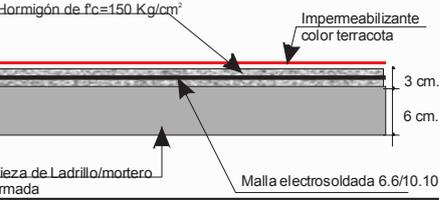
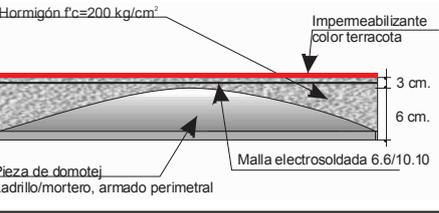
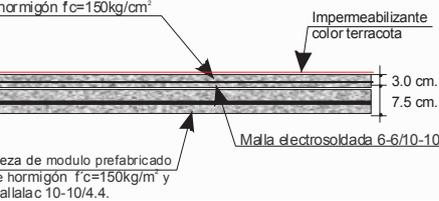
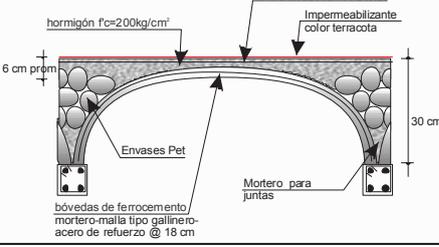
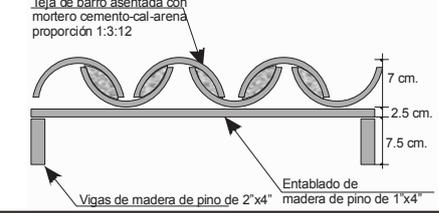
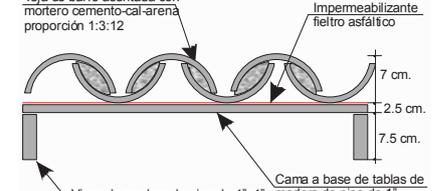
estructura de madera y teja de barro<sup>5</sup> (Tabla 3).

En total sumaron diez viviendas pero con siete diferentes sistemas de techos. Las techumbres, de acuerdo al material base de la tecnología aplicada en las piezas constructivas, se clasifican según se muestra en la Tabla 4.

Con la finalidad de comparar el impacto ambiental de los sistemas constructivos alternos propuestos por los investigadores del CYTED, se analizó también el impacto asociado a la construcción de una vivienda de similares características arquitectónicas empleando sistemas constructivos convencionales en la región, con cimentación a base de mampostería, muros de tabique de hormigón confinado con una estructura de hormigón armado y losa de hormigón armado de 10 cm de espesor, colocada *in situ*.

<sup>5</sup>López González, Arturo. "Mi casa de bahareque", 76 p.

Tabla 4. Techumbres Programa 10x10 Con Techo-Chiapas

<b>Ladrillo común y mortero:</b>		
<p><b>BÓVEDA CATALANA</b> Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Valles, UPC, España Bóvedas de perfil rebajado de ladrillo, con juntas discontinuas de mortero. Apoyadas en traves y vigas de hormigón. Recubiertas con mortero e impermeabilizante.</p>		
<p><b>PLACAS DE CERÁMICA ARMADA</b> Consejo Nacional de la Vivienda, Paraguay. Placas de ladrillo y mortero, armadas con acero de 3/8" y 1/4" Ø. Apoyadas en traves y vigas de hormigón. Recubiertas con hormigón armado e impermeabilizante.</p>		
<p><b>DOMOTEJ</b> Universidad Autónoma de Chiapas, México. Domos de petatillo cerámico y mortero, armado perimetral 1/4" Ø. Apoyadas en traves y vigas de hormigón. Recubiertas con hormigón armado e impermeabilizante.</p>		
<b>Hormigón</b>		
<p><b>PLACA – LOSA</b> Universidad Autónoma de Chiapas, México. Placas de hormigón armado prefabricadas. Apoyadas en traves y vigas de hormigón. Recubiertas con hormigón armado e impermeabilizante.</p>		
<b>Ferrocemento</b>		
<p><b>HEGO-BOVEDA DE FERROCEMENTO</b> Universidad Autónoma de Yucatán, México. Bóvedas de ferrocemento a base de mortero armado con malla gallinero y acero 1/4" Ø. Apoyadas en traves y vigas de hormigón. Recubiertas con hormigón armado e impermeabilizante.</p>		
<b>Teja de barro común y madera</b>		
<p><b>SOPORTERÍA LIGERA</b> Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Valles, UPC, España Estructura de madera y teja de barro industrializadas asentadas con mortero, apoyada en traves de hormigón armado.</p>		
<p><b>BAHAREQUE</b> Universidad Autónoma de Chiapas, México Estructura de madera con artesonado de tablas e impermeabilizante asfáltico, recubierta con tejas de barro industrializadas, asentadas con mortero.</p>		

## 5. IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN USADOS EN LA

## EDIFICACIÓN DE LAS VIVIENDAS DEL PROGRAMA 10X10 CONTECHO-CHIAPAS, MÉXICO- "LOS YUQUIS" (TABLAS 5 A 8)

Tabla 5. Desglose por tipologías de cantidades de materiales de construcción usados por sistema constructivo en cimientos y muros

Material	CIMENTOS Y MUROS					
	Ladrillo rojo común confinado con hormigón armado		Estructura de madera y muros de bahareque mejorado		Tabique de hormigón confinado con hormigón armado	
	kg	%	kg	%	kg	%
Acero	359.80	0.93	77.70	0.25	359.80	0.82
Agua	4,000.00	10.29	380.00	1.24	5,000.00	11.41
Áridos	24,430.00	62.82	26,730.00	86.87	32,836.02	74.90
Asfaltos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cal	400.00	1.03	100.00	0.33	400.00	0.91
Cemento	3,798.50	9.77	250.00	0.81	4,778.50	10.90
Cerámica	5,434.00	13.97	1,520.00	4.94	0.00	0.00
Diesel	3.50	0.01	20.00	0.07	3.50	0.01
Fibras naturales	0.00	0.00	410.00	1.33	0.00	0.00
Pintura	6.00	0.02	0.00	0.00	6.00	0.01
Madera	455.29	1.17	1,280.66	4.16	455.29	1.04
Resinas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	38,887.09	100.00	30,768.36	100.00	43,839.11	100.00

Tabla 6. Impactos ambientales asociados a la producción de los materiales de construcción usados por sistema constructivo en cimientos y muros

Material	CIMENTOS Y MUROS					
	Ladrillo rojo común confinado con hormigón armado		Estructura de madera y muros de bahareque mejorado		Tabique de hormigón confinado con hormigón armado	
	Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>	Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>	Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>
	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg
Acero	12,623.03	1,015.30	2,726.00	219.26	12,623.03	1,015.30
Agua	227.76	7.25	21.64	0.69	284.70	9.07
Áridos	2,612.56	215.31	2,858.53	235.58	3,511.51	289.39
Asfaltos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cal	1,374.78	128.73	343.69	32.18	1,374.78	128.73
Cemento	16,974.11	1,665.17	1,117.16	109.59	21,353.37	2,094.78
Cerámica	12,649.79	987.90	3,538.40	276.34	0.00	0.00
Diesel	35.90	0.15	205.13	0.88	35.90	0.15
Fibras naturales	0.00	0.00	2.85	0.74	0.00	0.00
Pintura	149.42	22.16	0.00	0.00	149.42	22.16
Madera	966.68	30.08	2,719.15	84.61	966.68	30.08
Resinas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	47,614.04	4,072.05	13,532.55	959.88	40,299.40	3,589.66

## 6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### CIMENTOS Y MUROS

Son los áridos el elemento primario en la construcción de la estructura desde la cimentación hasta cerramiento, con la particular diferencia entre las viviendas construidas con ladrillo rojo común o de tabiques de hormigón confinado por estructuras de hormigón armado y las construidas con la técnica de bahareque, donde, en las primeras, los áridos son arenas y gravas de río, que requirieron de un proceso más contaminante para su extrac-

ción y puesta en obra, que los áridos empleados en las viviendas de bahareque, formados principalmente de tierra del lugar.

Desde la cimentación se notan las menores cantidades de energía requerida, así como la menor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas para la obtención de los materiales empleados entre el sistema de bahareque con una estructura de madera y los sistemas que emplean una estructura de elementos de hormigón sin importar si los muros serán realizados con ladrillos o con tabique de hormigón. La diferencia se incrementa

Tabla 7. Desglose por tipologías de cantidades de materiales de construcción usados por sistema constructivo en techumbres

Material	TECHUMBRES																	
	Tecnologías alternativas desarrolladas por los investigadores del CYTED																	
	Ladrillo común y mortero						Hormigón			Ferrocemento			Teja de barro común y madera			Tecnología convencional regional		
	Bóveda catalana		Placas de cerámica armada		Domotej		Placa – losa		Hego-bóveda de ferrocemento		Soportaría ligera		Bahareque		Losa de hormigón armado colada <i>in situ</i>			
kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	
64.44	0.74	189.07	2.57	315.34	2.34	137.99	1.49	284.11	2.58	42.83	0.87	3.50	0.07	187.78	1.59			
830.00	9.58	700.00	9.51	2,050.00	15.20	990.00	10.71	1,530.00	13.89	150.00	3.06	50.00	1.05	1,265.80	10.74			
4,344.00	50.12	3,813.00	51.80	7,444.00	55.19	6,590.00	71.31	7,256.00	65.87	724.00	14.75	434.00	9.15	7,743.20	65.70			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.93	0.99	0.00	0.00			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	111.00	1.20	0.00	0.00	35.40	0.72	35.40	0.75	0.00	0.00			
1,128.50	13.02	530.00	7.20	1,816.50	13.47	1,101.00	11.91	1,640.50	14.89	135.00	2.75	31.50	0.66	1,353.00	11.48			
1,995.00	23.02	1,824.00	24.78	779.00	11.55	0.00	0.00	0.00	0.00	2,975.00	60.60	2,975.00	62.72	0.00	0.00			
0.50	0.01	0.50	0.01	0.50	0.00	0.50	0.01	0.50	0.00	0.50	0.01	0.50	0.01	10.00	0.08			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
255.99	2.95	266.25	3.62	266.25	1.97	266.25	2.88	266.25	2.42	846.68	17.25	1,166.18	24.59	1,182.15	10.03			
48.64	0.56	38.38	0.52	38.38	0.28	44.46	0.48	38.38	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	44.46	0.38			
8,667.07	100.00	7,361.20	100.00	12,709.97	100.00	9,241.20	100.00	11,015.74	100.00	4,909.41	100.00	4,743.01	100.00	11,786.39	100.00			

Tabla 8. Impactos ambientales asociados a la producción de los materiales de construcción usados por sistema constructivo en techumbres

Material	Tecnologías alternativas desarrolladas por los investigadores del CYTED																		Tecnología convencional regional	
	Ladrillo común y mortero						Hormigón			Ferrocemento			Teja de barro común y madera						Hormigón	
	Bóveda catalana		Placas de cerámica armada		Domotej		Placa – losa			Hego-bóveda de ferrocemento			Soportaría ligera		Bahareque		Losa de hormigón armado colada <i>in situ</i>			
Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>	Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>	Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>	Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>	Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>	Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>	Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>	Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>	Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>	Coste energético	Emisión de CO <sub>2</sub>	
MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	
2,260.90	181.95	6,633.22	533.52	11,063.15	889.83	4,841.14	389.38	9,967.53	801.71	1,502.73	120.87	122.79	9.88	6,587.94	529.88					
47.26	7.88	39.86	1.27	116.73	3.72	56.37	1.80	87.12	2.77	8.54	0.27	2.85	0.09	72.08	2.30					
464.55	30.41	407.77	33.61	796.07	65.61	704.74	58.08	775.96	63.95	77.43	6.38	46.41	3.82	828.06	68.24					
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
0.00	32.02	0.00	0.00	0.00	0.00	381.50	35.72	0.00	0.00	121.67	11.39	121.67	11.39	0.00	0.00					
5,042.85	466.30	2,368.38	232.34	8,117.28	796.31	4,919.97	482.65	7,330.80	719.16	603.27	59.18	140.76	13.81	6,046.06	593.12					
4,644.15	359.09	4,246.08	331.60	1,813.43	141.62	0.00	0.00	0.00	0.00	6,925.49	540.86	6,925.49	540.86	0.00	0.00					
5.13	0.00	5.13	0.02	5.13	0.02	5.13	0.02	5.13	0.02	5.13	0.02	5.13	0.02	102.57	0.44					
543.52	17.94	565.31	17.59	565.31	17.59	565.31	17.59	565.31	17.59	1,797.69	55.94	2,476.06	77.05	2,509.98	78.10					
5,360.29	842.45	4,229.61	626.87	4,229.61	626.87	4,899.64	726.17	4,229.61	626.87	0.00	0.00	0.00	0.00	4,899.64	726.17					
18,368.67	1,939.60	18,495.35	1,776.82	26,706.70	2,541.57	16,373.80	1,711.42	22,961.45	2,232.07	11,041.94	794.91	12,445.00	1,041.42	21,046.34	1,998.26					

considerablemente en la edificación de los muros y la estructura, pues en la vivienda de bahareque, el acero y el cemento sólo están presentes en mínimas cantidades. Y en los otros dos casos, las cantidades de acero y cemento son significativas en las estructuras de hormigón armado y en los morteros que unen los ladrillos y tabiques. Siendo mayor la cantidad de cemento en los tabiques de hormigón, ya que es la materia prima en la elaboración de las piezas.

La técnica de bahareque emplea, en su mayor parte, materiales propios de la región, y con gastos energéticos neutros o de poco impacto, que no recorren largas distancias hasta su puesta en obra; no así las otras dos opciones constructivas, puesto que el uso de cemento y acero hacen que el impacto ambiental de su edificación sea dos veces mayor que el generado por la construcción de una vivienda de bahareque.

#### TECHUMBRES

De los siete sistemas constructivos de techumbres propuestos por el CYTED analizados, cinco de ellos (bóveda catalana, cerámica armada, domotej, placa losa y bóveda de ferrocemento) tienen como materiales básicos de la tecnología el hormigón armado y morteros, aunque los tres primeros también requieren piezas cerámicas (ladrillo o petatillo rojo común de la región) en la fabricación de los componentes constructivos y que en la elaboración de estas piezas se emplee poco hormigón o mortero; el hecho de que se haya empleado en todos los casos traveses y vigas de hormigón armado para apoyar éstos, y que se necesite extender una capa de hormigón sobre los elementos prefabricados, hace que áridos, cemento, acero y agua sean los materiales más usados en la edificación de los techos de estas viviendas. Tanto el acero como el cemento son importados desde las regiones centrales o norte del país hasta el estado sureño de Chiapas, lo que incrementa la energía requerida para el transporte, aparte de toda la contaminación que dicho transporte genera. Esto arroja que tanto la cantidad de energía empleada como las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas en la realización de las techumbres donde emplearon estas cinco tecnologías sean muy superiores a las requeridas para la construcción de los techos con tecnologías a base de estructuras de madera y tejas cerámicas (soportes ligeros y bahareque).

Y es precisamente a consecuencia de este uso extendido de hormigón y mortero que, al comparar el impacto ambiental de estos sistemas constructivos alternativos, con el impacto que generaría la construcción de una losa maciza de hormigón armado,

sistema de referencia con tecnología convencional regional, nos encontramos que dos de estos sistemas, domotej y bóveda de ferrocemento, resultan ligeramente más contaminantes, y tres de ellos, bóveda catalana, cerámica armada, y placa losa, estén levemente por debajo.

No obstante, estos valores podrían variar considerablemente debido al proceso de fabricación del ladrillo y petatillo rojo común en la zona de estudio, pues el combustible empleado es biomasa (leña) cuyo valor en los análisis del ciclo de vida (ACV) es neutro, y no gas natural como se ha considerado en este análisis, con el empleo de los valores del banco BEDEC. Los sistemas bóveda catalana, cerámica armada y domotej reflejarían, por esta razón, valores menores de energía empleada y de emisiones de CO<sub>2</sub> realizadas.

La alta precipitación pluvial durante el periodo de lluvias, de mayo a octubre, con una precipitación promedio de 900 a 2.000 mm, hizo necesaria la aplicación de resinas impermeabilizantes, que, aunque únicamente representan menos de medio punto porcentual de las materias empleadas en los diversos techos, sí incrementan considerablemente la energía requerida en su ejecución, además de elevar considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Además, los cinco sistemas de mayor impacto, también representan los de mayor peso en materiales y, a mayor peso de la techumbre, se requiere una estructura soportante mayor y más compleja.

Cabe señalar, que estos dos sistemas menos contaminantes (bahareque y soportería ligera), también son los que ofrecen menos aportes térmicos al aire ambiente interior de las viviendas. Seguidos por los sistemas que emplean ladrillos y morteros, siendo las techumbres de hormigón las que proporcionan mayores ganancias térmicas al interior de la vivienda, incrementado el sobrecalentamiento del aire interior que repercute en el bienestar de los habitantes. Estos resultados se obtuvieron en un proyecto paralelo al presente sobre mediciones térmicas reales de las techumbres.

#### 7. CONCLUSIONES

Los sistemas constructivos de techumbres propuestos por los investigadores del CYTED aplicados en el Programa 10x10 Con Techo-Chiapas, permiten la elaboración de las piezas de la cubierta en diferentes etapas, con requerimientos tecnológicos mínimos y, que dependen, en buena parte, de los materiales locales; sin embargo, también incurre en el

empleo de hormigón y mortero como elementos importantes de refuerzo estructural, para garantizar la seguridad constructiva y la durabilidad. La presencia de morteros y hormigón en la estructura de los techos hace que las personas confíen más en la estabilidad y resistencia de las techumbres. No obstante, estas nuevas soluciones de cubiertas que proponen nuevas alternativas en el uso de los materiales más comúnmente empleados en la construcción de la vivienda en la región central del Estado de Chiapas, no representan un ahorro significativo en el empleo de las cantidades de materiales necesarios para solucionar la construcción del techo de la vivienda, y, en consecuencia, tampoco un ahorro energético ni reducción de emisiones contaminantes en la obtención de los productos. A excepción de los sistemas con estructuras de madera y tejas cerámicas.

La realización del presente trabajo, nos lleva a constatar que de las siete tecnologías constructivas propuestas por los investigadores del CYTED, y aplicadas en el Programa 10x10 Con Techo-Chiapas, cinco de ellas, cuyo material base son el ladrillo común y mortero, el hormigón y el ferrocemento, no logran la sostenibilidad ambiental. La aparente economía en el coste de las viviendas se logró mediante técnicas que recurren al ahorro por parte de la mano de obra, pero emplean materiales cuyo ciclo de vida es degradante con el medio ambiente.

Dichas prácticas constructivas “sustituyen”, dentro de su proceso de gestión, el valor del factor de capital natural por el de trabajo, haciendo que se logre la “utilidad” del producto

(vivienda) mediante la reducción del capital enfatizando el factor trabajo, a la inversa de la tendencia evolutiva tradicional de nuestro sistema productivo, que generalmente cambia trabajo por capital, pero sin disminuir el aporte de las materias primas, pues el cambio tecnológico se sustituye por uno que continua siendo degradante ambientalmente, contribuyendo al agotamiento de materias primas no renovables, así como al aumento de la emisión de los llamados gases de efecto invernadero que ocasionan el calentamiento global. Además que no prevé ningún tipo de “retribución” a la naturaleza por los servicios que ha brindado (disponibilidad de recursos), tales como impuestos por los procesos contaminantes y que bien pudieran destinarse a procesos de reciclaje de los recursos, lo que deja, nuevamente, ciclos abiertos, con la consecuente generación de contaminantes y residuos, que incrementan la entropía de los recursos con lo cual quita a las generaciones futuras la posibilidad de vivir del capital natural.

Por otra parte, este análisis supone un esfuerzo de investigación también para encontrar alternativas a los elementos de soporte de las piezas de la cubierta (vigas y traveses de hormigón) empleados en la construcción de las viviendas del Programa 10x10, Con Techo-Chiapas; pues no sólo afecta en cuestiones de sostenibilidad ambiental el uso de cantidades significativas de morteros y hormigones sino que, además, afecta a la sostenibilidad económica de las familias, puesto que el cemento y el acero son materiales de muy alto coste.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Álvarez, L., Coord.: “Análisis de los impactos ambientales asociados a los materiales de construcción empleados en la edificación en la isla de Lanzarote y propuesta desde una perspectiva ambiental”, p. 122, *Life Lanzarote 2001-2004*, Cabildo de Lanzarote, Programa MaB UNESCO, 2004.
- (2) Cuchí Burgos, Albert: “Arquitectura i sostenibilitat”, p. 82, TTS, Ediciones UPC, Barcelona, 2005,
- (3) Edwards, B., y Hyett, P.: “Guía básica de la sostenibilidad”, p. 121, Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcelona, 2004.
- (4) Lorenzo Gállego, Pedro, coord.: “Un Techo para vivir. Tecnología para viviendas de producción social en América Latina”, p. 559, Ediciones UPC, Barcelona, 2005,
- (5) López González, Arturo: “Mi casa de bajareque”. *Manual de autoconstrucción*, p. 76, Universidad Autónoma de Chiapas, México, 1999.
- (6) ITeC: “Parámetros de sostenibilidad”, p. 96, *Línea del Medio Ambiente y la Construcción*, Barcelona, 2003.
- (7) Xercavins, J., et al.: “Desarrollo sostenible”, p. 217, Ediciones UPC, España, 2005.

Páginas Web:

[www.itec.es](http://www.itec.es) Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña.  
[www.cabildodelanzarote.com/life.htm](http://www.cabildodelanzarote.com/life.htm) Cabildo Insular de Lanzarote.

\* \* \*