

EVALUACIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA DE LA EDIFICACIÓN EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MÉXICO

¹Larralde L., ¹González-Vallejo P. ¹Marrero M.

**¹Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, Departamento de Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla.
Avda. Reina Mercedes, 4 A 41012, Sevilla. Campus Universitario: Reina Mercedes
e-mail: *arq.larralde@gmail.com**

RESUMEN

Actualmente México presenta un crecimiento poblacional urbano importante, siguiendo el ritmo actual los edificios pronto tendrán mayor relevancia en materia de impacto ambiental al incrementarse la demanda de suelo urbano. En el país no existe ningún programa nacional de certificaciones de edificios en temas de sostenibilidad o algún sistema de evaluación para construcciones. En el presente trabajo se pretende poner en práctica la evaluación de impactos asociados a la edificación según el indicador de huella ecológica; para ello se emplea la herramienta desarrollada en la Universidad de Sevilla. A su vez, se busca contribuir a la estandarización de dicha metodología de manera que permita ser aplicable y evaluar edificios en cualquier país.

Mediante el análisis de la situación de la construcción en México principalmente en el sector residencial se determinará una tipología y proyecto que definirá el caso de estudio a desarrollar. El proceso se basa en la medición de proyectos, el cual disgrega la información en materiales, mano de obra y maquinaria. A grandes rasgos se lleva a cabo la siguiente secuencia de fases: análisis del sector para determinar el tipo de proyecto a estudiar, selección de un proyecto real, creación de un banco de cuantificación de recursos y la aplicación del indicador. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, así como algunas sugerencias para continuar con la investigación.

La vivienda mexicana, a pesar de tener soluciones constructivas sencillas, tiene mayor huella por metro cuadrado que la española debido al tamaño medio de las viviendas que es un 50% menor y los elementos con mucha energía incorporada (instalaciones, cocina, baño, etc.) tienen mayor repercusión, también la construcción mexicana tiene mayor intensidad de mano de obra.

Palabras clave: huella ecológica, impacto ambiental, energía, construcción, México.

1.- Introducción

A nivel nacional los datos e información que existen respecto al impacto ambiental de la construcción en México son escasos; sin embargo, según la CCA [1] las edificaciones son responsables en el consumo total de energía, agua, electricidad a su vez se le atribuyen también porcentajes importantes de emisiones de dióxido de carbono y desechos.

La sostenibilidad del medio ambiente ha sido reconocida como una de las dimensiones claves para el desarrollo de México. Para lograr un crecimiento verde, teniendo en cuenta objetivos económicos, sociales y medio ambientales, México ha hecho uso de la política, implementando impuestos y tasas en función del logro de dichos objetivos, progresos ambientales y sociales, además de la eliminación de subvenciones a actividades que resultan perjudiciales para el medio ambiente.

En el caso particular de la mejora del comportamiento ambiental de los edificios es necesario desarrollar indicadores que permitan calificar y cuantificar el peso de los impactos ambientales durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta su demolición. Las herramientas que analizan dichos impactos generalmente siguen la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) [2,3]. Aparte, están surgiendo otras herramientas que analizan estos impactos, como el análisis de energía [4], el análisis de flujo de materiales [5], huella carbono, huella de ecológica [6], etc.

De entre los estudios que han optado por utilizar el indicador huella ecológica (HE), intentando adaptar su metodología a las particularidades del sector de la edificación, se pueden destacar dos, aunque ambos contemplan solamente la fase de construcción del edificio. Éstos son los de Bastianoni [6] y Solís-Guzmán [7].

Con menor repercusión, el indicador HE se ha aplicado al estudio del crecimiento de distritos de gran altura en Tehran [8], viviendas de campesinos [9], hoteles [10], y la rehabilitación de una casa centenaria [11], además de haberse desarrollado una herramienta para la estimación de la HE y huella de carbono de edificios [12]. Finalmente, se han analizado el ciclo de vida de los edificios (proyecto, materialización, uso y demolición) y su estudio según HE (energía, recursos, CO₂ y residuos sólidos), aplicándolo a un centro de exposiciones en Wuhan (China) [13].

Como decíamos, en el estudio de Bastianoni [6] se calcularon la HE de dos edificios italianos, teniendo en cuenta principalmente la energía incorporada de los materiales, y el proceso de construcción (estimado como un 5% del total de energía de los materiales). Los resultados quedan reflejados en terreno para la absorción del CO₂, terreno de bosques (para los materiales de madera), y el área ocupada por los edificios. En el trabajo de Solís-Guzmán [7] se desarrolla un modelo de cálculo similar con algunas hipótesis innovadoras, tales como incluir el consumo de comida y los traslados de los operarios, o el consumo de agua en la obra, el cual no suele aparecer en los estudios de HE ya que no está incluido en la metodología general del indicador. Con la inclusión de los alimentos aparecen huellas asociadas a terrenos de cultivo, pastos y pesca. A partir de este trabajo de investigación se analizaron 100 proyectos de viviendas en España [14]. Es este último modelo el que se aplica a la construcción en México para evaluar su adaptabilidad a otros modelos constructivos.

El término HE fue introducido por William Rees y Malthis Wackernagel a finales del siglo pasado a través de la publicación *Our Ecological footprint, reducing Human Impact on the Earth* [15] se trata de un indicador de sustentabilidad para medir el impacto que tiene determinada comunidad, persona, organización, ciudad, etc. sobre el medio ambiente.

El indicador, en su medición, toma en cuenta la población total que habita o interviene en el espacio, un lapso de tiempo definido, así como las superficies

dedicadas a: cultivos para producir alimentos, fibras y aceites, pastoreo para obtener carne, leche, cuero, lana etc.; bosques para disponer de madera que se usa en la producción de bienes o como combustible, mar para obtener pescados y mariscos, superficie construida, que incluye viviendas, industrias, carreteras y otras infraestructuras, área de absorción, cantidad de bosque para absorber los desechos producidos por la quema de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, utilizados, entre otros, por las industrias, maquinaria y para el transporte y el espacio para la conservación, reservado para el mantenimiento de la biodiversidad. La HE es el resultado de entrecruzar todos estos elementos. Para el año 1961, se estimaba que la HE mundial equivalía al 70% de la capacidad de regeneración de la Tierra, para los años ochenta llegó al 100% y para el inicio del nuevo siglo ya había excedido la capacidad planetaria [16].

En construcción la HE es un indicador que nos permite comparar el valor ecológico que tienen las diversas actividades que comprende el sector, desde el lugar elegido para un edificio, los materiales empleados y su origen, el diseño del edificio como tal, hasta los consumos de mano de obra etc. Además nos permite analizar el ciclo de vida del edificio comparando materiales que cumplen la misma función [17].

2.- Metodología

Como ya se mencionó anteriormente la metodología que se va a tomar como punto de partida en éste trabajo es la desarrollada previamente en la tesis doctoral de Solís Guzmán [7] y trabajo fin de máster de González- Vallejo [14] la cual incluye el consumo de recursos y materiales así como la generación de residuos, lo que se pretende es ampliar su aplicación desarrollando una herramienta que permita la evaluación de edificaciones no sólo de España.

El procedimiento para el cálculo de la HE del sector residencial de México se basa en las mediciones de un proyecto de vivienda. Identificando materiales, mano de obra y maquinaria, se sigue la siguiente secuencia:

1. Identificación del tipo de vivienda más construido en la actualidad.
2. Selección de un proyecto representativo de la tipología determinada.
3. Presentación de características.
4. Traslado a terminología técnica de construcción de España.
5. Adaptación al modelo HE.
6. Creación de un banco de cuantificación de recursos a partir de la base de costes de construcción en México y de la medición del proyecto.
7. Aplicación del indicador HE a la vivienda.
8. Realización de un análisis de los resultados.
9. Comparativa con los resultados con la vivienda en España.

3.- Análisis del sector de la construcción en México

Según los resultados del estudio Situación Inmobiliaria en México [19] la proporción más importante de inversión en el país es industrial, ubicándose éstos proyectos en zonas en desarrollo a las afueras de las ciudades o en zonas metropolitanas. La generación de empleos en dichas áreas ha traído como consecuencia mayor demanda de bienes y servicios cerca de los centros de trabajo. Difícilmente en las ciudades las autoridades se han preocupado por crear un plan de desarrollo urbano

que integre a las industrias y los requerimientos que su establecimiento ocasiona, lo que provoca asentamientos irregulares carentes de infraestructura que lamentablemente se dan principalmente en los sectores de menos ingresos, y que ha venido marcando ya un modelo de crecimiento en las ciudades.

La construcción masiva de viviendas, la desvinculación entre crecimiento poblacional y la expansión excesiva de las manchas urbanas, han acarreado una gran diversidad de problemas como la falta de equipamientos y servicios suficientes, una conectividad deficiente, la incentivación del uso del automóvil particular sobre el uso del transporte público y la movilidad no motorizada, resultando en marginación en el ciudadano, disminución de la calidad de vida y menor cohesión social.

4.- Análisis de la vivienda en México y determinación de la tipología a estudiar

La caída inmobiliaria y los establecimientos irregulares han provocado dificultades para registrar los niveles de construcción de vivienda. Tomando como referencia los datos del Registro Único de Vivienda (RUV) que fueron empleados para el análisis Situación Inmobiliaria en México [19] se aprecia en la gráfica (fig. 1) que pese a la caída de inmobiliaria y los cambios que esta produjo, el tipo de vivienda más construida es la unifamiliar de interés social.

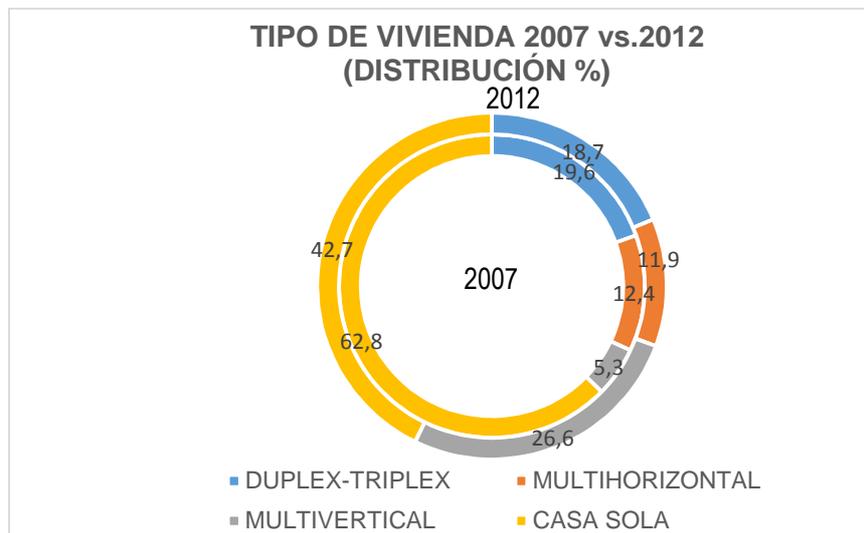


Fig. 1 "Tipo de vivienda 2007 vs. 2012" [19]

Según los datos del censo de población realizado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [20] se calcula un déficit de vivienda de 8,9 millones de casas, y todos los años ese número aumenta en 200,000. Con un total de 24,3 millones de casas en el país, México necesita 35% más de viviendas para atender a la población actual.

Para dar abasto a esta demanda de vivienda se ha adoptado el modelo de fabricación de grandes volúmenes de casas con molde llevado a cabo principalmente en las ciudades más pobladas del país. Este proceso consiste principalmente en desarrollar un modelo de vivienda prototipo y a partir de él realizar una especie de línea de producción similar a los procesos utilizados en las maquiladoras, el cual varía de ciudad a ciudad pero que muchas ocasiones supera las mil viviendas. La utilización de esta técnica permite acelerar los tiempos, aproximadamente de un mes para la llamada "obra gris" o el proceso constructivo hasta antes de los detalles y acabados, la reducción de costes al hacer las compras de materiales en grandes cantidades, además de asegurar la estandarización de los procesos y control de calidad.

El proyecto a analizar es el prototipo de un complejo de viviendas de interés social llamado “Mina Azul”, el cual se encuentra ubicado en la zona conurbada de la Ciudad de Guadalupe, en el Estado de Zacatecas muy próximo a una zona industrial. Se trata de una zona en desarrollo que se ha dado por establecimiento en este sitio de nuevas empresas extranjeras principalmente del sector automotriz.

El complejo se desarrolló mediante una producción en serie a partir de un prototipo o molde denominado “Modelo Barcelona” el cual se proyectó pensando en los habitantes del lugar, tratándose principalmente de grupos de obreros de bajos ingresos que conforman familias de matrimonios jóvenes con uno o dos hijos.

En cuanto a las características constructivas de la vivienda, las cimentaciones son a base de una losa de hormigón armado que se ejecuta mediante un molde de hierro, las estructuras (columnas y trabes) así como la cubierta de igual manera son de hormigón armado. Para los cerramientos se emplean muros de bloque de hormigón recubiertos de revoco a la tirolasa en interiores y enfoscado y pintura en los exteriores, los pisos van cubiertos con un soldado cerámico.

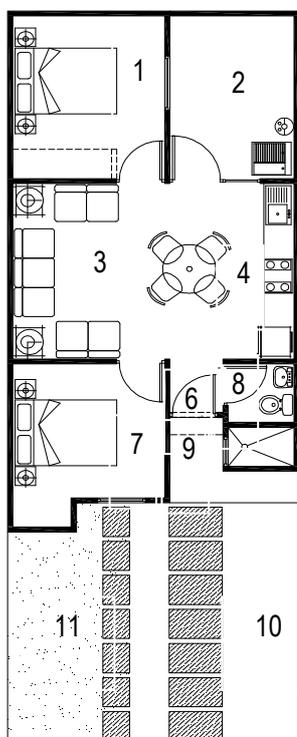


Fig. 2 “Croquis Vivienda”

PROGRAMA DE NECESIDADES				
No.	Descripción	Área		
		Interior	Exterior	
01	Habitación 1	9,59		
02	Patio de Servicio		8,25	
03	Sala	8,58		
04	Cocina Comedor	10,86		
06	Vestíbulo	0,94		
07	Habitación 2	8,57		
08	Baño	2,65		
09	Acceso Principal		2,94	
10	Cochera		14,45	
11	Jardín		11,71	
12	Muros	3,8	0,14	
		45,00	37,5	82,5
		Sup. Int. Total	Sup. Ext. Total	Sup. Total

Tabla 1 “Programa de Necesidades”.

5.- Aplicación del modelo al proyecto de vivienda unifamiliar en México

A partir de los datos obtenidos de la medición y reforzando la información con datos generales, planos, etc. se procede a la adaptación del proyecto al modelo.

Los datos obtenidos de las mediciones se clasifican según el Banco de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA) [21] y se expresan en unidades de medición por unidad de superficie construida (u/m^2), especificando el tipo de recurso utilizado. Para el caso de estudio se han agregado partidas nuevas respecto del modelo original para contemplar el proyecto mexicano completo y no dejar sin estimar alguna parte del proceso constructivo, en este caso los conceptos aparecen en la terminología constructiva de México y su correspondiente código original.

Posteriormente se va adaptando gradualmente el proyecto al modelo BCCA, comenzando a nivel de capítulos y subcapítulos, con la terminología constructiva de México, y a continuación las partidas, adaptando los conceptos que contempla el proyecto a la terminología constructiva de España, ver en la tabla 2.

MEDICIÓN DEL PROYECTO

	CÓDIGO	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1 MEDICIÓN	104009	ACERO DE REFUERZO EN CIMENTACION.	KG	71,40
	101005	MOLDE PARA LOSA DE CIMENTACION.	ML	37,34
	101006	POLIETILENO EN LOSA DE CIMENTACION.	M2	48,50
	101007	JUNTA CONSTRUCTIVA EN CIMENTACION.	ML	9,06
	102001	MALLA ELECTROSOLDADA 6X6/6-6.	M2	140,79
	101012	COLOCACIÓN, EXTENDIDO, VIBRADO Y CURADO DE CONCRETO PREMEZCLADO FC=200 KGS/CM2	M3	6,00
	101013	CADENA DE DESPLANTE. (AHOGADA)	ML	45,70

2 CAPÍTULOS Y SUBCAPÍTULOS

CÓDIGO	CONCEPTO	SELECCIÓN RECURSOS	CANTIDAD	QI (U/M2)
03H	HORMIGONES			0,00
03HA	M3. HORMIGÓN ARMADO ZAPATAS	VERTIDO GRÚA		
03HAL	M3. HORMIGÓN LOSA			
03HA	M3. HORMIGONES ARMADOS			
03HM	M3. HORMIGONES PARA ARMAR		6,75	0,15

3 PRECIOS BÁSICOS Y PRECIOS UNITARIOS

CÓDIGO	CONCEPTO	SELECCIÓN RECURSOS	CANTIDAD	QI (U/M2)
03HR	M3. HORMIGONES PARA ARMAR			
03HRL800	M3. HORMIGÓN ARMADO EN LOSAS		6,75	0,15

Tabla 2 “Adaptación de proyecto al modelo BCCA”.

Consecuentemente se crea un banco de cuantificación de recursos del proyecto a partir del Banco de Cuantificación de Recursos de Andalucía [21] y el Análisis de Costos de Materiales para Construcción de México [22], se sigue la estructura del BCCA [21] que diferencia entre costes directos e indirectos dando lugar a una definición concisa de todos los costes que se le atribuyen al proyecto, además de establecer una clasificación de precios en materiales, mano de obra y maquinaria, lo que permite aplicar la metodología HE anteriormente señalada. Del documento de análisis de costos de México [22], obtenemos los componentes y rendimientos de cada concepto.

En la tabla 3 se muestra un ejemplo del descompuesto de una de las partidas del Banco de Cuantificación de Recursos (BCRR) desarrollado para el proyecto, el cual se compone de una breve descripción del concepto utilizando en el lenguaje técnico de México.

6.- Metodología de cálculo de la HE

A partir de los datos obtenidos del BCRR y sus descompuestos, se aplican coeficientes que los transforman en huella de pastos, mar, cultivos, energía, bosques y ocupación directa, que en conjunto nos darán la huella total de la vivienda. Para ello se emplean factores de emisión, absorción, productividad y equivalencia que transforman los consumos en huellas parciales. Finalmente estos factores convierten los resultados de hectáreas (ha) a hectáreas globales (hag), lo que nos permitirá comparar los resultados con los del sector residencial de España. En la figura 3 observamos un diagrama que sintetiza la metodología para la

evaluación de la HE en edificación. A continuación se mencionan brevemente los factores que intervienen en cada huella parcial:

CODIGO BCCA	CODIGO BCCM	UNIDAD	DESCRIPCION							
03HRL80010	E00012	M3	LOSA DE CIMENTACION							
PROCEDENCIA										
CODIGO BCCA	CODIGO BCCM	UNIDAD	CONCEPTO	CANTIDAD	MEDIA	PESO	Total	Cantidades obra	CANTIDAD (U)	Qi (u/m2)
MATERIALES										
WW00300	AIBFE092	KG	FESTERGRAL	0,750	0,750	0,250	0,188	1,265625	6,75	0,18
CA00220	VAR025	KG	VARILLA DE ACERO CORRUGADA	147,840	147,840	0,250	36,960	249,48		
CH03020	CPAPR015	M3	CONCRETO PREMEZ F'c=200KG/CM2	1,050	1,050	0,250	0,263	1,771875		
WW00400	10G2H105	PZA	SILLETA MALLA	2,000	2,000	0,250	0,500	3,375		
MANO DE OBRA										
TO00100	1AABO	H	ALBAÑIL	0,400	0,400	0,250	0,100	0,675		
TA00200	1AABY	H	AYUDANTE	0,400	0,400	0,250	0,100	0,675		
TP00100	1AZC1	H	CABO	0,04	0,040	0,250	0,010	0,0675		
MAQUINARIA										
MV00100	EQAVB001	H	VIBRADOR	0,200	0,200	0,250	0,050	0,3375		

Tabla 3 “Ejemplo del Banco de Cuantificación de Recursos”.

- HE Mano de obra: alimentos

A la huella de la edificación se le agrega la del sustento de los trabajadores a partir de las horas totales trabajadas. Generando a su vez cuatro tipos de huella: energía, pastos, cultivos y mar productivo. Para ello es necesario obtener el número total de horas laboradas por el conjunto de trabajadores a partir del análisis de descompuestos de BCCR. Para el caso de estudio se obtuvo un total de 1470 horas de trabajo para la construcción de la vivienda. Además es necesario determinar de qué porcentajes el trabajador realiza el gasto en sus alimentos. Se realizó una estimación a partir de la cantidad de horas trabajadas y los datos en cuanto a la alimentación fueron obtenidos del estudio “La alimentación de los mexicanos. Cambios sociales y económicos, y su impacto en los hábitos alimenticios” [23], del cual se obtuvo el porcentaje de distribución de alimentos en la dieta de un mexicano promedio, siendo en mayor cantidad el consumo de carne y posteriormente el de cereales.

- HE Mano de obra: movilidad

Se determinará a partir de la definición del tipo de transporte, la distancia media recorrida por los vehículos, y el combustible consumido.

- Se establecerá como tipo de transporte el vehículo privado. En el caso de la construcción en México lo más usual es que el jefe de obra y el supervisor recojan a los trabajadores que no tienen vehículo propio en un punto determinado y de ahí los lleve en furgoneta a la obra. Por lo que partimos de esta hipótesis.
- Se establecerá de 15 a 30 km de distancia media recorrida por los vehículos de los operarios en los desplazamientos.
- La ocupación media por vehículo será de 8 individuos. Para conocer el número de trabajadores, deberemos conocer el número total de horas trabajadas y la duración efectiva de la obra en horas, ambos datos se obtendrán del BCCR.
- Para el cálculo del combustible emplearemos coeficientes de consumo de coches en México, que en el caso de gasolina es 9,57 l/1 km [24].

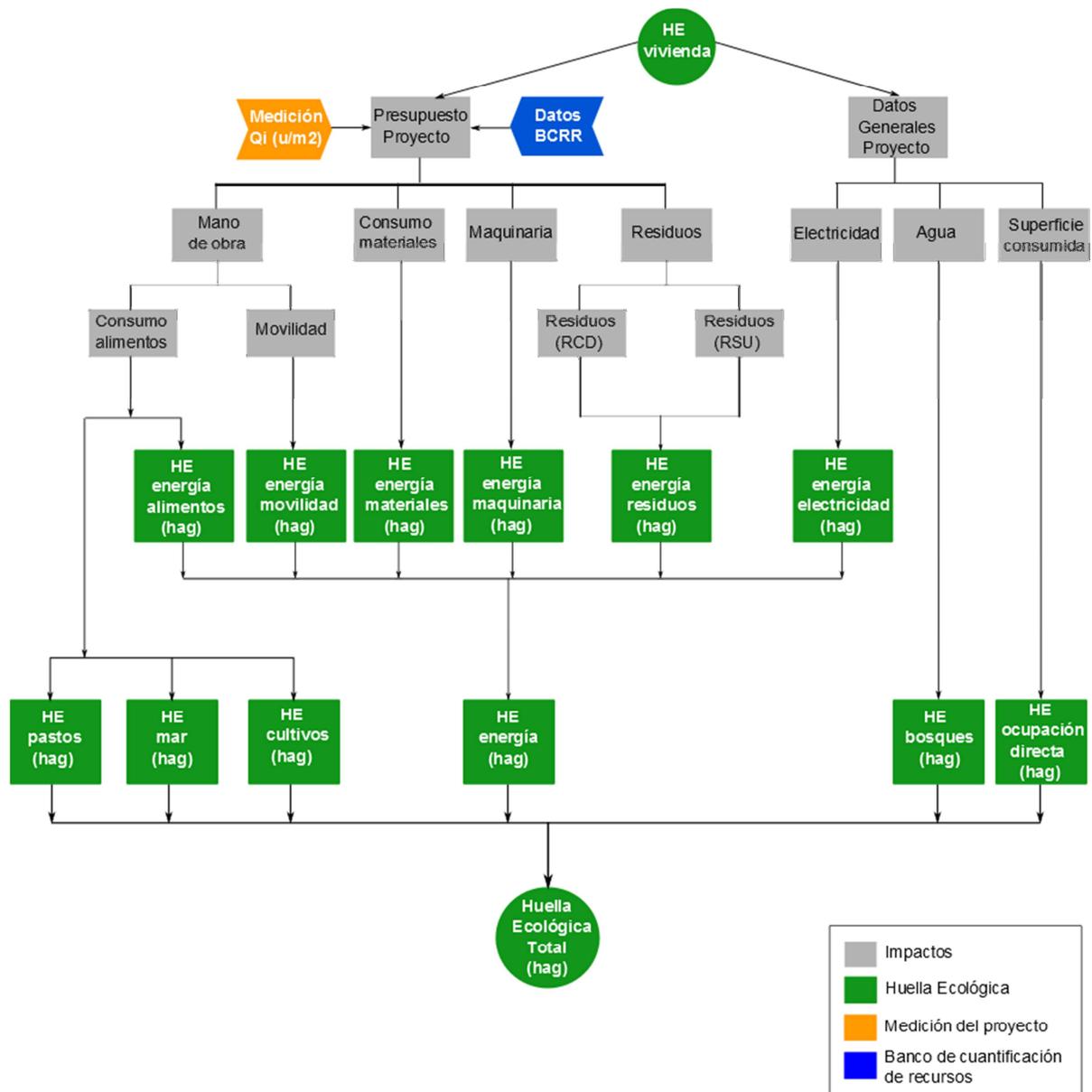


Fig. 3 “Diagrama de Metodología de Evaluación de HE en Edificación” [14].

- HE Materiales de construcción

A la huella de la energía le vamos a sumar la de los materiales, los valores de esta energía incorporada se tomará de la extracción, fabricación, transporte y puesta en obra de los mismos. Empleando coeficientes de paso, las cantidades de materiales en sus distintas unidades (m, m², kg., etc.) se convertirán en peso (kg). En el caso de estudio los materiales de mayor impacto son el acero, el hormigón y el polietileno, en ese orden en cuanto a la cantidad empleada.

- HE Maquinaria

La HE de la maquinaria se determina a partir del volumen de combustible consumido. El cálculo de las horas de maquinaria empleada se realiza a través de la medición del proyecto y los datos del BCRR. Se considera la hipótesis de otros trabajos [7,14] donde el 20% del coste horario de la maquinaria es atribuido a coste de combustible [24] el cual incluye el mantenimiento pero no su depreciación. Los litros de combustible se determinan a partir del coste actual en México, 0,72 €/l [24].

- **HE Electricidad.**

Al carecer de datos exactos de sobre la facturación de energía eléctrica en obras de edificación en México se sigue la hipótesis del trabajo de Freire y Marrero en España [26]. El consumo total de energía de la ejecución de la obra se reparte entre combustible y electricidad, y se establece la producción de electricidad en México es por combustión de hidrocarburos.

- **HE Residuos de construcción.**

Se consideran dos tipos de residuos, tierras de excavación y los residuos de construcción y demolición (RCD) mixtos que agrupan los restos de materiales generados en la ejecución de la obra así como los envases que los contienen.

La determinación de la HE de los residuos será a partir de la metodología de Wackernagel [27], según la cual la huella asociada al depósito de los residuos o vertidos se calcula de forma similar que para los materiales, con la misma intensidad energética, únicamente restando el porcentaje de energía que puede recuperarse por reciclaje. En el procedimiento a usar todos los consumos se asocian a la huella energética.

- **HE Consumo de agua.**

Se contabilizarán los consumos de agua aunque no estén contemplados en el método de HE. Se hará determinando el rango de consumo de agua en obras de construcción residencial, siguiendo el planteamiento del trabajo de Trigo Ledesma [28].

- **HE Superficie construida.**

La HE de la superficie construida se obtiene directamente de la transformación sufrida por el suelo a analizar. Tal impacto se obtendrá calculando la superficie consumida por la vivienda. Como define la metodología de HE, la superficie a considerar será la superficie productiva utilizada directamente.

7.- Resultados

Se obtienen resultados parciales para cada tipo de huella y a partir de éstos es que se determina la HE Total de la vivienda. En la tabla 4 se observan los resultados totales. La HE de la vivienda es de 25,109 hectáreas globales, lo que corresponde a 0,403 hectáreas globales por metro cuadrado de construcción. Se aprecia que la HE de mayor impacto es la relativa a la energía y dentro de ella la correspondiente a los materiales. La HE de los pastos proveniente de los alimentos también presenta un lugar importante mientras que la HE de la superficie directa es casi despreciable.

En la figura 4 se muestran los resultados de la HE del proyecto mexicano y los obtenidos tras el cálculo de la HE del sector residencial de España [14] de viviendas de características similares en ambos países. La vivienda que presenta características similares a la de la investigación es la tipología unifamiliar de un solo nivel y cuya HE es 0,362 hag/m². La vivienda de México presenta una HE mayor, 0,403 hag/m², debido principalmente a que es un 50% más pequeña que la española por lo que elementos con mucha energía incorporada como las instalaciones, baños, cocina, etc., tienen mayor repercusión por metro cuadrado construido. La vivienda mexicana también tiene más mano de obra por lo que la huella de los alimentos es también mayor.

HUELLA TOTAL						
Tipo de huella (hag)						
Impacto	Energía	Bosques	Pastos	Mar	Cultivos	Superficie consumida
Maquinaria	0,004					
Electricidad	0,180					
Agua		0,015				
Alimentos	1,277		4,915	0,410	2,209	
Movilidad	0,001					
Residuos RSU	0,210					
Materiales	15,725					
Residuos RCD	0,148					
Ocupación directa						0,016
HE parcial (hag)	17,544	0,015	4,915	0,410	2,209	0,016
HE Total (hag)	25,109					
HE Total (hag/m2)	0,403					

Tabla 4 "HE total".

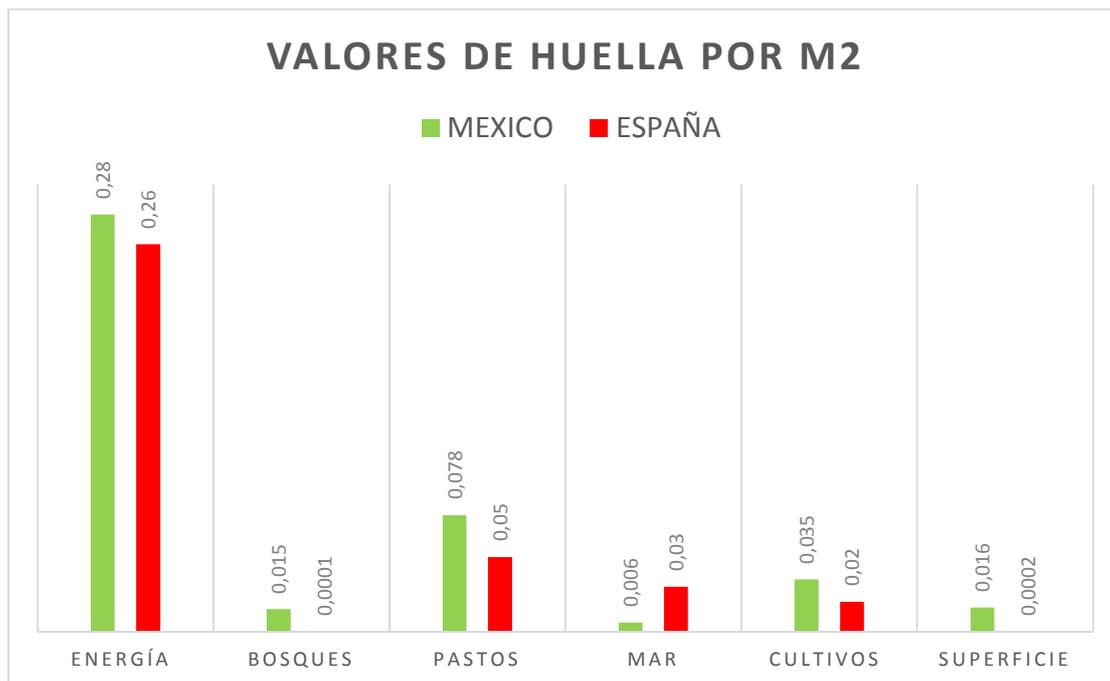


Fig. 4 "Gráfico comparativo HE vivienda México – España".

8.- Conclusiones

Tras algunas adaptaciones modelo HE de España, se ha podido obtener la HE de un proyecto representativo de México. Muchos de los datos se obtienen de la medición y presupuesto del proyecto, presentándose en España y México distintos términos técnicos de construcción para un mismo concepto y en algunas ocasiones incluso diferentes unidades de medición.

La vivienda mexicana, a pesar de tener soluciones constructivas sencillas tiene mayor huella por metro cuadrado que la española debido al tamaño medio de las viviendas que es un 50% más pequeña y a que los elementos con mucha energía incorporada (instalaciones, cocina, baño, etc.) tienen mayor repercusión.

Ya obtenido el indicador de HE para la vivienda representativa del sector residencial de México se puede concluir que el modelo español puede generalizar su aplicación. En desarrollos futuros, se debe flexibilizar el BCCR para su posible aplicación en cualquier región, el cual contemple un mayor abanico de opciones para las partidas y que a su vez permita incluir conceptos especiales.

AGRADECIMIENTOS

Ministerio de Innovación y Ciencia de España, por la concesión del proyecto I+D+i: Evaluación de la huella ecológica de la edificación del sector residencial en España (EVALHED: BIA2011-25812). 2012-2014.

REFERENCIAS

- [1] CCA, (2008). *La edificación sustentable en América del Norte: Oportunidades y Retos*, Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal.
- [2] Zabalza Bribián I, Valero Capilla A, Aranda Usón A, 2011. *Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*. Building and Environment 46:1133-1140.
- [3] Malmqvist T, Glaumann M, 2009. *Environmental efficiency in residential buildings – A simplified communication approach*. Build Environ 44:937–947.
- [4] Meillaud F, Gay JB, Brown MT, 2005. *Evaluation of a building using the emergy method*. Solar Energy 79:204-212.
- [5] Sinivuori P, Saari A, 2006. *MIPS analysis of natural resource consumption in two university buildings*. Building and Environment 41(5):657-668.
- [6] Bastianoni S, Galli A, Pulselli RM, Niccolucci V, 2007. *Environmental and economic evaluation of natural capital appropriation through building construction: practical case study in the Italian context*. Ambio 36(7):559-565.
- [7] Solís-Guzmán J, Marrero M, Ramírez-de-Arellano A, 2013. *Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain)*. Ecological Indicators 25:239-249.
- [8] Samadpour P, Faryadi Sh, 2008. *Determination of ecological footprints of dense and high-rise districts, case study of Elahie neighbourhood, Tehran*. Journal of Environmental Studies 34(45):63-72.
- [9] Zhao XY, Mao XW, 2013. *Comparison environmental impact of the peasant household in han, zang and hui nationality region: Case of zhangye, Gannan and Linxia in Gansu Province*. Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica 33(17):5397-5406.
- [10] Li B, Cheng DJ, 2010. *Hotel ecological footprint model: Its construction and application*. Chinese Journal of Ecology 29(7):1463-1468.
- [11] Bin G, Parker P, 2012. *Measuring buildings for sustainability: Comparing the initial and retrofit ecological footprint of a century home – The REEP House*. Applied Energy 93:24-32.
- [12] Olgay V, 2008. *Greenfoot: A tool for estimating the carbon and ecological footprint of buildings*. American Solar Energy Society - SOLAR 2008, Including Proc. of 37th ASES Annual Conf., 33rd National Passive Solar Conf., 3rd Renewable Energy Policy and Marketing Conf.: Catch the Clean Energy Wave 8:5058-5062.
- [13] Teng J, Wu X, 2014. *Eco-footprint-based life-cycle eco-efficiency assessment of building projects*. Ecological Indicators 39:160-168.
- [14] González Vallejo, Patricia, Marrero Meléndez, Madelyn, Solís Guzmán, Jaime: *The ecological footprint of dwelling construction in Spain*. Ecological Indicators. 2015. Núm. 52. 75-84.
- [15] Wackernagel, Rees, (1996) *Our Ecological footprint, reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers.
- [16] Bueno, Ester. *Nuestra huella ecológica*. Centro Nacional de Educación Ambiental, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España.

www.paot.org.mx/centro/boletin/agosto/huella.pdf. Fecha de consulta: mayo de 2014.

[17] SEMARNAT, (2012). *Huella Ecológica, datos y rostros*. Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. México.

[19] Servicio de Estudios Económicos del Grupo BBVA, (2013). *Situación Inmobiliaria México*. México.

[20] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (2012). *Encuesta Anual de Empresas Constructoras 2012. Resultados preliminares*. México.

[21] Consejería de Obras Públicas y Vivienda de la Junta de Andalucía, (2010). *Base de Costes de la Construcción de Andalucía*. España.

<http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasyvivienda/portalweb/web/areas/vivienda/texto/bcfbb3af-ee3a-11df-b3d3-21796ae5a548>. Fecha de consulta mayo 2014.

[22] Bimsa Reports, (2007). *Análisis de Costos de materiales para construcción*. BIMSA. México.

[23] García Urigüen Pedro, (2012) *La alimentación de los mexicanos. Cambios sociales y económicos, y su impacto en los hábitos alimenticios*. Canacintra. México.

[24] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, (2014). Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares.

<http://www.ecovehiculos.gob.mx/>. Fecha de consulta: junio de 2014.

[25] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012), *Informe de la Situación de Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y Desempeño Ambiental*.

http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/07_residuos/cap7_1.html. Fecha de consulta: junio de 2014.

[26] Freire Guerrero, A., Marrero Meléndez, M., (2014). *Analysis of the ecological footprint produced by machinery in construction*. World Sustainable Building 14. Barcelona, España. 2014.

[27] Wackernagel, Dholakia, Deumling, and Richardson, (2000). *Redefining Progress, Assess your Household's Ecological Footprint v 2.0*.

http://greatchange.org/ng-footprint-ef_household_evaluation.xls. Fecha de consulta: junio de 2014.

[28] Trigo-Ledesma, R. (2013). *Evaluación del consumo de agua en obras de edificios residenciales y su aplicación a la huella ecológica*. Proyecto Fin de Máster. Universidad de Sevilla.