

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LOS FACTORES DE IMPACTO DE LA HUELLA ECOLÓGICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS

Solís-Guzmán, J.

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, Departamento de Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla.
E-mail: jaimesolis@us.es**

RESUMEN

Los cálculos actuales de huella ecológica se realizan siempre siguiendo la metodología definida por Mathis Wackernagel, basada en el análisis descendente, es decir, de arriba hacia abajo, partiendo de datos macroeconómicos para calcular las posibles huellas de distintas escalas territoriales: la Tierra, los continentes, los países, las ciudades, etc.

En esta comunicación pretendemos explicar una posible metodología de cálculo para determinar la huella ecológica de la edificación, y más concretamente del sector residencial. Se analizarán aspectos tales como electricidad, movilidad, comida o residuos.

Finalmente, se mostrará un caso de estudio, donde la metodología será aplicada a un tipo de edificio.

Palabras clave: Huella ecologica, edificio, metodología, recursos, energía

1. Introducción

Es notoriamente conocido que el sector de la edificación es responsable de una parte importante de la emisión de dichos gases, y que, sin embargo, no dispone aún de mecanismos para su evaluación y control, motivado fundamentalmente por la difícil acotación de los posibles focos de emisión de contaminantes de cada edificio.

Si consideramos el edificio como un sistema cuya actividad es potencialmente contaminante, debemos establecer cuáles son dichos focos de emisión, y si es el caso, los sumideros o mitigadores de esa contaminación.

Desde esa perspectiva, el edificio es directamente responsable de la generación de contaminantes por su construcción y operación, por el uso del agua y por la generación de residuos, y también indirectamente por las emisiones del transporte desde y hacia el edificio.

En este marco de trabajo, se presenta esta investigación como un paso adelante en la definición de herramientas que permitan la evaluación de los impactos que genera la edificación.

Ese paso pretende aplicar la metodología de huella ecológica (HE) al sector de la edificación residencial, y definir un modelo que evalúe dicho indicador en los edificios residenciales. La huella ecológica es un indicador relativamente novedoso, que partiendo de la evaluación de la huella de carbono, pretende establecer resultados más intuitivos para estudiar el grado de impacto de las actividades económicas sobre el territorio. Desde ese punto de vista, de la relación de la edificación con el territorio donde se ubica, la huella ecológica es capaz de definir, de forma empírica y visual, el grado de impacto de la edificación sobre el territorio.

Dada la dificultad de establecer un modelo que relacione dicho indicador con el sector edificación residencial, esta investigación se centra en el estudio del sector residencial en su fase de construcción, una de las más representativas desde el análisis de los impactos sobre el territorio, y sin duda, la más agresiva desde el punto de vista de la capacidad de carga del territorio, ya que dicha actividad se desarrolla intensamente durante un corto período de tiempo.

En la actualidad, los cálculos de huella ecológica se realizan siempre siguiendo la metodología definida por Mathis Wackernagel [1], basada en el análisis descendente, es decir, de arriba hacia abajo, partiendo de datos macroeconómicos para calcular las posibles huellas de distintas escalas territoriales: la Tierra, los continentes, los países, las ciudades, etc.

2. Determinación del indicador HE

Según la metodología de cálculo de la HE, la premisa previa es que todos los consumos, materiales y energéticos, y la absorción de residuos tienen su expresión correspondiente en territorio productivo, pues requieren de éste para su producción o eliminación.

Para ese cálculo se elabora la matriz necesidades de superficie productiva-categorías de uso.

En las categorías de uso encontramos:

- Alimentación: agricultura, ganadería, pescado
- Sector forestal
- Bienes de consumo
- Consumo energético (energía)
- Territorio utilizado directamente (ciudades, infraestructuras....)

Y en cuanto a las necesidades de superficie productiva tendremos:

- Absorción de CO₂
- Cultivos
- Pastos
- Bosques
- Mar productivo
- Utilizado directamente

2.1. Cálculo de los consumos

El consumo total de materiales y energía se calcula contabilizando el consumo anual de alimentos, productos forestales, consumo directo anual de energía y otros materiales, manufacturados o presentados de forma primaria. Dicho consumo se compondrá de tres términos: la producción de materiales y energía, en primer lugar. En segundo lugar, las importaciones de materiales y energía. Y por último, las exportaciones de los materiales o de energía que se produzcan en el país de origen. Este último apartado contabilizará de forma negativa sobre el total de los consumos.

Dichos consumos deben ser transformados en superficie productiva. Para ello empleamos la fórmula matemática [2]:

$$AA_i = C_i / P_i \quad (1)$$

AA: área apropiada para la producción de cada categoría (ha)

C: consumo total (toneladas (t) o gigajulios (GJ))

P: productividad (t/ha o GJ/ha)

2.2. Tipos de territorio productivo

- Territorio para la absorción de CO₂: Se define como la superficie de bosque necesaria para la absorción de la emisión de CO₂ debida al consumo de combustibles fósiles para la producción de energía. Dentro de esta categoría de territorio se contabilizan los consumos en la producción de bienes, gastos en vivienda y transportes, entre otros.
- Territorio agrícola (cultivos): Es el área para producir los vegetales que se consumen. Constituye la tierra más productiva ecológicamente y genera la mayor producción neta de biomasa utilizable.
- Superficie de pastos: Es el área dedicada al pastoreo de ganado.
- Superficie forestal: Es aquella que se emplea para la producción de productos forestales (madera y papel).
- Terreno construido: Son las áreas utilizadas directamente, como las urbanizadas o las ocupadas por infraestructuras.
- Mar productivo: Área para producir pescado y marisco.

2.3. Factores de conversión [2]

Los factores de conversión permiten transformar datos que están en determinadas unidades a unidades que sirvan para cuantificar los distintos componentes de la huella. Es decir, estos factores nos van a permitir comparar consumos de muy diverso origen geográfico o productivo mediante su transformación en hectáreas de superficie productiva. Los factores de conversión pueden ser de dos tipos:

1. Factor de rendimiento o de productividad: permite la transformación de un dato de consumo en superficie. Sus unidades son kg de materia productiva por hectárea y año (kg mat/ha/año). Este factor de equivalencia compara la productividad de cada categoría de territorio respecto a un tipo de territorio hipotético cuya productividad biológica sea la media mundial de todos los territorios. Es decir, relaciona la productividad biológica local de un territorio respecto a la productividad mundial de ese mismo tipo de territorio.

2. Factor de equivalencia o de ponderación: Permite agregar superficies con productividades distintas y establecer comparaciones entre las huellas ecológicas de países. Para ello se aplican equivalencias a cada tipo de superficie, de tal forma que cada hectárea se normaliza a superficie biológicamente productiva con una productividad igual a la media mundial, esto es, se convierte en hectárea global (hag). Se mide en hag/ha. Gracias a este factor es habitual que se presenten los resultados en términos per cápita (hag/cap) permitiendo establecer comparaciones entre países o regiones.

	Principales tierras agrícolas	Bosques	Tierras de pastoreo	Pesquerías marinas
Mundo	1,0	1,0	1,0	1,0
Argelia	0,6	0,0	0,7	0,8
Guatemala	1,0	1,4	2,9	0,2
Hungría	1,1	2,9	1,9	1,0
Japón	1,5	1,6	2,2	1,4
Jordania	1,0	0,0	0,4	0,8
N.Zelanda	2,2	2,5	2,5	0,2
RPD Laos	0,8	0,2	2,7	1,0
Zambia	0,5	0,3	1,5	1,0

Tabla 1: Factores de productividad para países seleccionados [3]

	gha /ha
Principales tierras agrícolas	2,21
Tierras agrícolas marginales	1,79
Bosques	1,34
Tierras de pastoreo permanentes	0,49
Marinas	0,36
Aguas continentales	0,36
Asentamientos humanos	2,21

Tabla 2: Factores de equivalencia 2003 [3]

3. Determinación de los factores de impacto

Los objetivos de la investigación se centrarán en desarrollar una metodología para calcular la huella ecológica del sector residencial de la edificación. El ámbito de estudio se centrará en la fase de implantación y construcción de las edificaciones residenciales. La complejidad de los cálculos de huella ecológica impide extender la investigación a las otras dos fases del ciclo de vida de los edificios, la de uso y la de demolición.

Para establecer la metodología para el cálculo de la huella ecológica del sector residencial en la fase constructiva se definen las fuentes de impacto de la huella ecológica, ya que ellas serán las generadoras de los impactos sobre el territorio. Se encuentran en el nivel superior del árbol de la fig.1:

- Los consumos directos
- Los consumos indirectos
- La generación de residuos
- La superficie construida

Los consumos directos son aquellos que provocan el empleo directo de recursos en la obra, bien a través del gasto de energía (en forma de combustible o electricidad) o de agua. Ambos se ubican en el segundo nivel del árbol, catalogados como recursos (ver recuadro de códigos de fig.1).

Los consumos indirectos provocan el empleo indirecto de recursos, ya que los recursos materiales o energéticos utilizados provienen de otros previos, que son en nuestro caso:

- La mano de obra
- El consumo de materiales de construcción

El consumo de mano de obra en la construcción de viviendas genera por una parte, gasto de alimentos por parte de los operarios, y por otra, empleo de combustible derivado de la movilidad de los operarios (desplazamientos hasta el lugar en el que se ubica la construcción).

Por su parte, los materiales de construcción, a través de los procesos de fabricación, transporte y puesta en obra (ver fig.1) consumen combustible (transporte de los materiales a la obra) o energía (necesaria para la fabricación de los materiales y su puesta en obra). Desde el punto de vista del análisis de HE, el estudio cuantitativo de los materiales de construcción no es lo más relevante, sino cómo se traduce esa cantidad consumida en recursos que sí son expresables en términos de HE. Por eso se transforma esa cantidad en gasto de energía primaria, al igual que se hace con la electricidad o la movilidad.

El tercer factor de impacto son los residuos que se generan en la fase de construcción. Pueden proceder de la mano de obra (residuos sólidos urbanos: orgánicos, papel, plásticos...) o de la construcción del edificio (residuos de construcción y demolición (RCD)).

Y la última fuente de impacto es la propia superficie construida, que provoca el consumo de territorio, y por tanto, una huella sobre el mismo.

Hemos visto que cada una de las fuentes de impacto emplea recursos (energía, agua, mano de obra, materiales) o genera residuos.

A través de los elementos intermedios (ver recuadro de códigos de la fig.1) transformamos esos consumos en elementos que nos permitirán definir las distintas huellas que conforman la huella global del sistema de estudio, y que se verán detenidamente en los próximos apartados.

Son elementos intermedios:

- Los combustibles

- La electricidad
- La movilidad
- El transporte de materiales a la obra
- La fabricación de los materiales de construcción
- Las emisiones de CO₂
- El territorio necesario para absorber las emisiones de CO₂
- El territorio ocupado por las distintas fuentes de impacto

Y los distintos coeficientes que nos permiten transformar los consumos y elementos intermedios en huellas parciales son los siguientes:

- El rendimiento del sistema eléctrico
- La productividad de los bosques
- El factor de rendimiento de los alimentos
- El coeficiente de movilidad
- El coeficiente de transporte
- El coeficiente de energía incorporada
- El coeficiente de generación de residuos
- El factor de conversión de residuos
- La superficie consumida
- El factor de emisiones
- El factor de absorción
- Los factores de equivalencia
- Los factores de productividad

Mediante los elementos intermedios y los coeficientes obtenemos las distintas huellas parciales y totales que se generan en el sector residencial. Se ubican

en el último nivel de la fig.1, y se representan mediante círculos de color verde.
Las enumeramos:

- La huella forestal
- La huella de alimentos
- La huella de energía
- La huella de ocupación directa
- La huella ecológica total

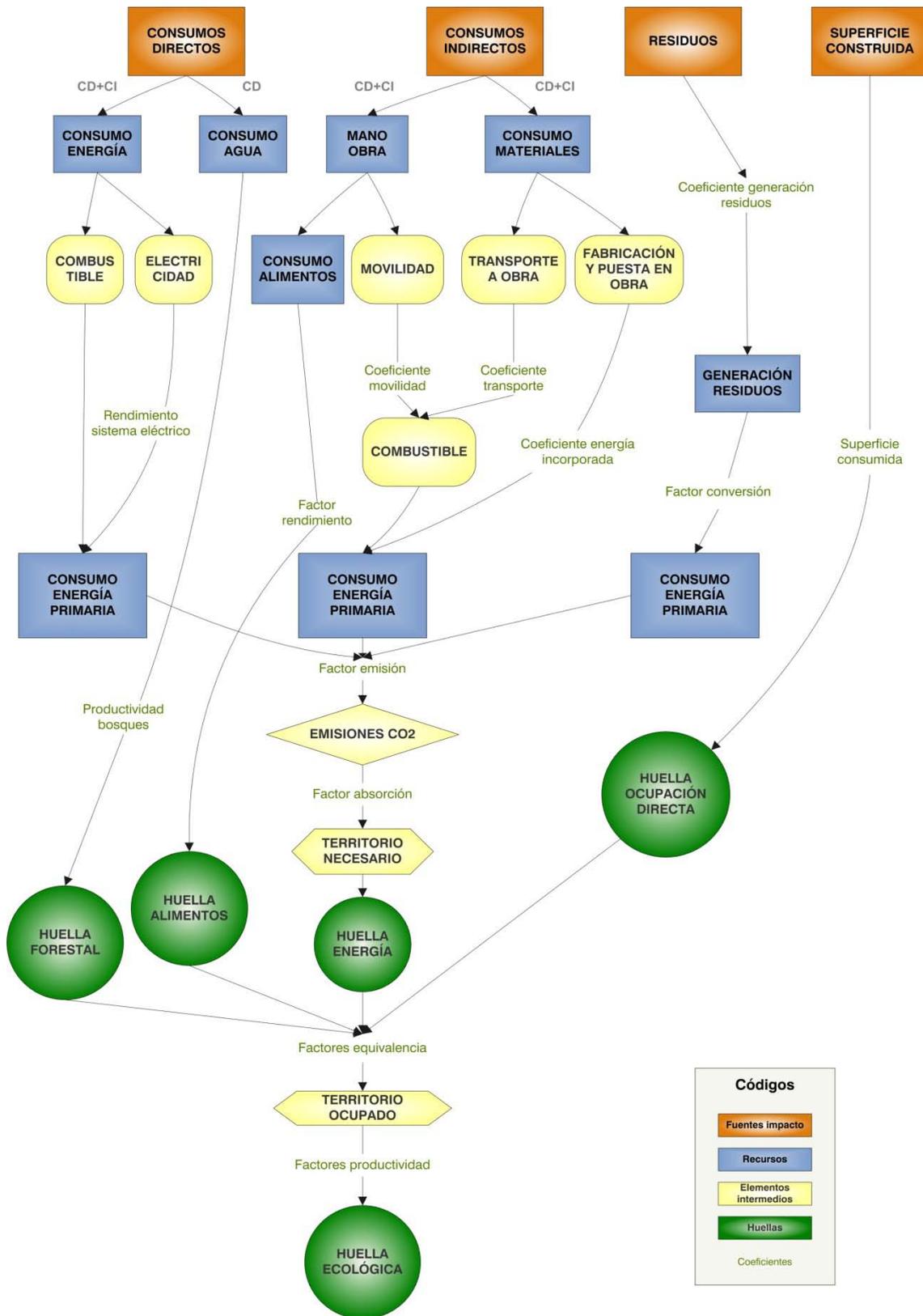


Fig.1 Árbol metodológico de la investigación

4. Caso práctico

El caso práctico es un proyecto de edificación y urbanización de dos bloques de viviendas, de 4 plantas sobre rasante y dos bajo rasante cada uno, que suman en total 107 viviendas plurifamiliares, con sus correspondientes plazas de aparcamiento, trasteros y locales comerciales. Dicho proyecto se comenzó en la provincia de Huelva en el año 2006, siendo promotora la empresa DOLMEN Consulting Inmobiliario.

El área construida total se muestra en la tabla 3:

Superficie construida	Bloque 1	Bloque 2
Planta baja	1.359,06	1.197,86
Planta primera	1.359,15	1.197,86
Planta segunda	1.363,35	1.201,53
Planta tercera	1.363,35	1.201,53
Total	5.444,91	4.798,78
Superficie total (m ²)	10.243,69	

Tabla 3: Superficies construidas de ambos bloques

Para definir la HE de los bloques, se sigue la siguiente secuencia:

1. Análisis y evaluación de los consumos de recursos materiales y energéticos en la fase de construcción de la tipología edificatoria considerada. Dicha evaluación debe incluir: consumos de todos los recursos materiales empleados en la construcción de las viviendas, energía consumida en la obra (incluida la implantación sobre el territorio de la edificación objeto de la investigación), movilidad obligada de los operarios que trabajan en la obra de edificación y energía consumida en transportar y reciclar los residuos generados en las obras.
2. Análisis y evaluación de los consumos de recursos materiales y energéticos en la fase de construcción de la tipología de urbanización considerada. Incluye los mismos aspectos que el punto anterior. Este análisis se realiza para tener en cuenta todos los impactos que genera el proyecto de edificación, incluida la urbanización donde se ubica la edificación objeto de estudio.
3. Análisis y evaluación de los consumos energéticos vinculados al suministro del agua empleada en la construcción de la tipología edificatoria analizada.
4. Análisis y evaluación de los consumos de recursos materiales y energéticos por parte de la mano de obra empleada en la construcción de la tipología edificatoria analizada.
5. Obtención de las huellas parciales.

6. Obtención de la huella ecológica producida por la tipología de edificación y urbanización estudiadas.

Aplicando dicha secuencia, se obtuvieron los siguientes resultados (tabla 4):

Impacto	Tipo huella (hag/año y m ²)					
	Fósil	Bosques	Pastos	Mar	Cultivos	Superficie construida
Maquinaria	0,020682					
Electricidad	0,040766					
Agua		0,000227				
Alimentos	0,011202		0,036364	0,022612	0,010885	
Movilidad	0,000003					
Materiales	0,239528					
Residuos	0,138188					
Ocupación directa						0,000154
Total	0,450370	0,000227	0,036364	0,022612	0,010885	0,000154
TOTAL	0,520611					

Tabla 4: Huella ecológica total (respecto a la superficie construida)

Conceptualmente el resultado final representa el consumo anual de superficie para la construcción de 1 m² de bloque de viviendas. Es decir, que el consumo estimado para la construcción de un bloque de viviendas sería de aproximadamente 5.200 m² de superficie por m² construido, considerando que la fase de edificación dura un año. Una cifra que será necesario revisar una vez que las hipótesis planteadas se consoliden suficientemente. De todas maneras, debemos señalar que estas cifras muestran claramente lo intensiva que es la actividad edificatoria sobre el territorio y la necesidad de minimizar los impactos que genera.

Además, recalcar que nuestro análisis es anual, y corresponde a la fase de construcción, que es la que genera un mayor impacto en menor período de tiempo.

5. Conclusiones

Atendiendo a los resultados globales, es claramente destacable que el tipo de huella más representativa es la de origen fósil. Dentro de ella, el reparto es muy variable, aunque son muy significativos los efectos del consumo de materiales de construcción y de la generación de residuos. Para este tipo de actividad la movilidad no resulta ser un aspecto muy determinante. Las otras fuentes de la huella fósil son la maquinaria, la electricidad y los alimentos. Respecto a este último, decir que su cálculo implica asumir unas hipótesis que derivan en resultados algo chocantes. Así, el consumo de alimentos origina huella de distintos tipos, conforme al origen de los distintos alimentos, y además todas ellas suficientemente representativas. Por último, la huella del consumo de

agua y territorio tienen una incidencia poco apreciable en este estudio. Todos estos resultados exigirán su revisión futura para la mejora del modelo mostrado.

REFERENCIAS

- [1] Wackernagel M. y Rees W. (2001). Nuestra Huella Ecológica: Reduciendo el Impacto Humano sobre la Tierra. LON, Santiago de Chile.
- [2] Acosta G., González J., Calvo M. y Sancho F. (2001). Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía, Sevilla.
- [3] WWF, Zoological Society of London and Global Footprint Network (2006). Living Planet Report, WWF International, Switzerland.