

Modelo de cuantificación de las emisiones de CO₂ producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución

Model for quantifying CO₂ emissions in buildings due to material resources consumed during construction

M. P. Mercader^(*), A. Ramírez de Arellano^(**), M. Olivares^(*)

RESUMEN

La investigación realizada en el presente trabajo plantea la generación de un modelo de cuantificación de las emisiones de CO₂ producidas en la ejecución del modelo constructivo habitual definido como el bloque residencial destinado a viviendas de protección oficial, derivadas del proceso de fabricación de los recursos materiales empleados en su ejecución.

La identificación y cuantificación de los materiales de construcción consumidos, permitirá conocer el impacto medioambiental que produce la tipología definida, a través de uno de los indicadores de impacto ambiental más relevantes asociados al peso por m² de construcción, como son las emisiones de CO₂ derivadas del proceso de fabricación de los materiales de construcción empleados en su ejecución.

Su aplicación práctica a un conjunto de diez proyectos de ejecución ubicados en Sevilla, proporcionará datos concluyentes sobre la cuantificación de las emisiones de CO₂ producidas en su ejecución, identificando los de mayor impacto ambiental.

113-118

Palabras clave: Impacto medioambiental; identificación y cuantificación de recursos; emisiones de CO₂.

SUMMARY

Research in this paper focuses on the generation of a model to quantify CO₂ emissions in the implementation of a typical building block for affordable residential housing, derived from the manufacturing process of the materials used in its construction.

The identification and quantification of building materials consumed, will reveal the environmental impact of producing the type defined by one of the indicators most relevant environmental impact associated with weight per m² of construction, such as CO₂ emissions resulting from manufacturing process of the construction materials used in its implementation.

Its practical application to a set of ten projects located in Seville implementation, will provide conclusive data on the quantification of CO₂ emissions in its implementation by identifying the greatest environmental impact.

Keywords: Environmental impact; resources identification and quantification; CO₂ emissions.

^(*) Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla (España).

^(**) Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, Universidad de Sevilla (España).

Persona de contacto/Corresponding author: pmm@us.es (M^a. P. Mercader).

1. INTRODUCCIÓN

De todos es conocido que las actividades de construcción intervienen en el medio ambiente natural utilizando los recursos extraídos de la naturaleza, para lo que se requiere de enormes cantidades de energía, tanto para la explotación de canteras y bosques como para transformación en productos de construcción, depositando en el ambiente desechos y emanaciones durante y al final del ciclo de vida de los productos y obras, con las consiguientes emisiones a la atmósfera.

La actividad generada por el sector de la construcción, incluida su industria asociada, es la mayor consumidora de recursos naturales. En la Unión Europea, la construcción de edificios consume el 40% de los materiales, el 40% de la energía primaria y genera el 40% de los residuos, teniendo especial responsabilidad en el actual deterioro del medio ambiente la ampliación del parque construido (1).

En España los resultados son similares, la construcción y uso de edificios, en el contexto total de impactos de la sociedad suponen un 32% en cuanto al consumo de energía no renovable, un 30% de la generación de emisiones de CO₂, de efecto invernadero, un 24% de las extracciones de materiales de la corteza terrestre, que junto al 17% del agua potable consumida hacen un total de 41% del consumo de recursos naturales y finalmente suponen entre el 30-40% de los residuos sólidos generados (2).

Investigaciones realizadas durante el año 2005 nos revelan, que la construcción de viviendas en España habría supuesto la emisión de cerca de tres cuartos de tonelada de CO₂ por cada español, generada por la fabricación de los materiales que las conforman, lo que junto a las emisiones derivadas del uso de energía de las viviendas, en conjunto supondrían casi un 20% del total de las emisiones producidas por nuestro país (3).

Es evidente pues, que los materiales que utilizamos para la construcción de nuestros edificios son responsables de los impactos más relevantes que se producen en el medio, consecuencia de un excesivo consumo energético y de la liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases contaminantes.

En lo que al campo normativo se refiere, -esta preocupación medioambiental- se traduce en la búsqueda de políticas medioambientales conducentes a la minimización tanto del consumo de recursos naturales, como del consumo energético y por último de las emisiones de CO₂ a la atmósfera (4).

Numerosos acuerdos internacionales hablan de éstas últimas como uno de los elementos contrapuestos al desarrollo sostenible; término definido en 1987 en el, comúnmente conocido, como "Informe Brundtland" (5). Pero es tal vez, el acuerdo internacional alcanzado en 1997 en Kioto, donde el concepto de emisiones de CO₂ toma mayor relevancia en el problema de la sostenibilidad, haciéndose eco en la sociedad a escala mundial al aparecer en su Anexo II como uno de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), causantes del cambio climático, convirtiéndose así en uno de los objetivos de este acuerdo (6).

En la actualidad este acuerdo se encuentra en aras de ser sustituido por uno nuevo derivado de la Cumbre de Copenhague 2009 (COP 15), cuya importancia radica en la suscripción de los EEUU, considerado uno de los países que produce mayor cantidad de GEIs y la toma de decisiones concretas para reducir las emisiones que lo generan (7).

Sin embargo tales iniciativas parecen no ser suficientes, las expectativas generadas por el Observatorio de Sostenibilidad de España muestran que en el Estado Español las emisiones han crecido un 50% desde 1.990 (3), con lo que parece inviable cumplir con el compromiso de Kioto de llegar al año 2012 con una reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero del 5,2 % respecto al período que se toma como referencia, el año 1990.

Es tal vez por ello, que el mundo en que vivimos apuesta con actitud activa por la investigación y la innovación tecnológica en el campo de la reducción de las emisiones de CO₂ en la construcción de edificaciones, como aportación a la meta del desarrollo sostenible.

Investigaciones precedentes a nivel nacional, cuantifican las emisiones de CO₂ producidas en la construcción de edificios experimentales (8), evalúan el impacto ambiental asociado al uso de materiales de construcción, como base sobre la que articular propuestas de mejora (9), analizan las posibilidades de reducción de las emisiones de CO₂ en el sector doméstico (10), argumentan criterios para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en proyectos de fachadas de edificios de viviendas (11), o incluso patentan modelos simplificados para el cálculo de las emisiones de CO₂ en Europa (12).

En el ámbito internacional existen investigaciones que analizan los principales retos y los incentivos para lograr viviendas con bajas emisiones de CO₂ (13), o que mues-

tran la preocupación por el cambio climático y la necesidad de adaptación en el sector de la construcción (14).

En definitiva, todo ello pone de manifiesto la preocupación en este ámbito, lo que resulta lógico, teniendo en cuenta que las emisiones de los sectores transporte y vivienda, considerados sectores de producción difusa de CO₂, implican conjuntamente el 60% de las emisiones que se producen a nivel nacional; por lo que su reducción puede contribuir a la reducción global de forma muy importante (3).

Se pretende con este trabajo elaborar una metodología de cálculo que nos permita desarrollar una diagnosis del sector de la construcción, a través de las emisiones de CO₂ que se producen en la tipología definida como la habitual; partiendo del proceso metodológico desarrollado en la tesis doctoral de D.^a Pilar Mercader, utilizada como referencia principal de este artículo (15).

La cuantificación de las emisiones de CO₂ que se producen en la misma, derivadas del proceso de fabricación de los recursos materiales empleados en su ejecución y la identificación de los más relevantes, proporcionará a futuras investigaciones, un modelo sobre el que ensayar y comparar nuevas soluciones constructivas tendentes a la minimización de las emisiones de CO₂ generadas.

En adelante se utilizará como simplificación el término "emisiones de CO₂", dado que en particular, éstas son las únicas emisiones a la atmósfera estudiadas. No obstante, puede ser igualmente entendido como emisiones de "CO₂ equivalente", dado que el potencial de calentamiento global en un periodo de 100 años, es de 1 para el CO₂ (16).

Aclarar que el concepto de "CO₂ equivalente" permite "traducir" la contribución de los diversos gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆ y halocarbonos) a una unidad común; ya que unas sustancias inducen un mayor efecto que otras por unidad, y que cada sustancia tiene una "vida media" diferente, cambiando su potencial de calentamiento en el tiempo. Combinando ambos factores, el Tercer Informe de Evaluación del Cambio Climático del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, TAR 2001) establece los valores de potencial de calentamiento global para cada sustancia en un periodo de 100 años; por lo que de esta forma, la contribución al efecto invernadero para cada sustancia se traduce a su equivalente en CO₂ en un periodo de 100 años, siendo este valor para el caso del CO₂, al que se hace referencia en este artículo, de 1.

2. MODELO DE CUANTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ PRODUCIDAS EN LA EJECUCIÓN DE VPO

El objetivo principal es la generación de un Modelo dirigido a la cuantificación de las emisiones de CO₂ que se producen en el modelo constructivo definido como el habitual en el sector de la construcción, derivadas del proceso de fabricación de los recursos materiales consumidos en su ejecución.

La entidad del modelo constructivo definido permite estimar la duración de su proceso de ejecución en un año.

Para lograr la meta propuesta es necesario la consecución de unos objetivos complementarios de rango menor, organizados en tres niveles ordenados jerárquicamente, atendiendo a su prioridad temporal en su consecución:

NIVEL 0: Selección de la muestra y cuantificación de los recursos materiales consumidos en la ejecución del Modelo Constructivo Habitual (MCH¹). El objetivo es seleccionar una muestra de estudio representativa del MCH y cuantificar, en kg por m² construido, cada uno de los componentes básicos materiales consumidos en su ejecución.

NIVEL 1: Emisiones de CO₂ por Componente Básico Material (CBM²). El objetivo es conocer las emisiones de CO₂, expresadas en kgCO₂/kg, producidas en la fabricación de 1 kg de cada CBM implicado en la ejecución del MCH.

NIVEL 2: Cuantificación de las emisiones de CO₂ en la construcción de Viviendas de Protección Oficial en Sevilla. En este nivel 2 se cuantifican las emisiones de CO₂ que se producen en la ejecución del MCH, en kgCO₂/m² de superficie construida, derivados de la fabricación de los CBMs que lo constituyen.

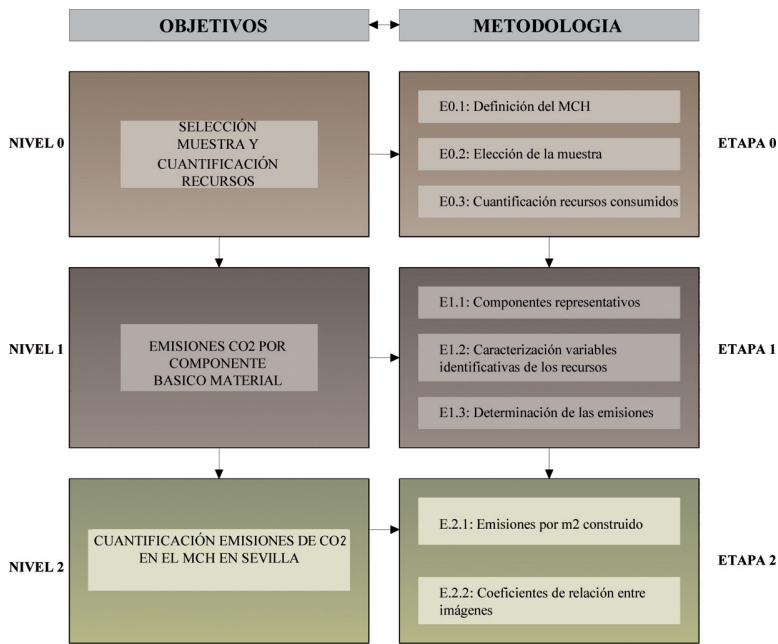
3. MODELO DE CUANTIFICACIÓN, METODOLOGÍA

En respuesta a la estructura jerárquica de objetivos, se establece un plan de etapas que atenderá al mismo orden jerárquico, relacionando en sentido descendente las diferentes etapas y subetapas necesarias para lograr el objetivo principal y en sentido horizontal, las necesarias para cubrir los objetivos de rango menor planteados en cada nivel.

Cada subetapa atiende a la nomenclatura E_{ij} , donde el primer subíndice "i" se corresponde con la etapa de la metodología en la que nos encontramos y el segundo subíndice "j", atiende al orden jerárquico temporal que es preciso realizar para culminar cada etapa, quedando ilustrado en la Figura 1.

¹ MCH, acrónimo con el que se identifica al Modelo Constructivo Habitual objeto de estudio.

² CBM, acrónimo con el que se identifica al Componente Básico Material. En plural (CBMs).



1. "Esquema metodológico".

ETAPA 0.: Selección de la muestra y cuantificación de los recursos materiales consumidos en la ejecución del MCH definido. Satisface el objetivo de rango menor considerado en este nivel, la selección y cuantificación de una muestra de edificios representativos del MCH, cuya definición es preciso establecer con carácter previo, suficiente en número para considerar los futuros resultados representativos del MCH.

Dada la envergadura del proceso, no objeto del presente trabajo, se aportan en esta etapa los datos recogidos en investigaciones precedentes, tomadas en este trabajo como datos de partida. Son los siguientes:

0.1- Definición del Modelo Constructivo Habitual (17). El Modelo Constructivo Habitual queda definido como el bloque residencial destinado a VPO constituido por cuatro plantas sobre rasante y una de sótano, con una disposición sobre la parcela exento, geometría de manzana cerrada con patio interior y que cuenta con una superficie construida en torno a los 11.000-12.000 m², albergando un total de 82-86 viviendas.

Las características constructivas de esta tipología están constituidas por: losa de hormigón armado en cimentación, estructura vertical de pilares de hormigón con forjado unidireccional, cubierta plana, cerramiento de material cerámico de ladrillo y carpintería exterior de aluminio.

Las fuentes utilizadas para su definición han sido las publicaciones estadísticas editadas por el Ministerio de Fomento (18-22) y el trabajo de campo realizado en el Servicio de Licencias Urbanísticas de la Gerencia de Urbanismo de Sevilla y archivos municipa-

les, de los proyectos de ejecución que solicitaron licencia entre los años 2003-2010.

0.2.- Elección de la muestra. La muestra seleccionada forma parte del plan parcial denominado SUP-PM-6, Pino Montano, Sevilla, siendo la empresa promotora la Empresa Municipal de la Vivienda de Sevilla (EMVISESA).

0.3.- Cuantificación de los recursos consumidos en la muestra seleccionada. Recoge la cuantificación de la totalidad de recursos materiales consumidos en la muestra seleccionada representativa del MCH, denominada Imagen Original del MCH, fruto de la normalización en peso por m² construido (kg/m²) de cada CBM empleado en la ejecución de los diez proyectos de ejecución que constituyen la muestra.

La normalización de las unidades, permite determinar que los recursos materiales consumidos en la ejecución del MCH definido, supone un total de **2.177,738 kg/m² construido** (15).

ETAPA 1: Emisiones de CO₂ por Componente Básico Material. En esta etapa se seleccionan los CBMs más representativos y se determinan sus valores correspondientes a las emisiones de CO₂ derivadas del proceso de fabricación, expresados en kgCO₂/kg.

1.1.- Determinación de componentes representativos de la muestra. Para ello se define la Imagen de Referencia (23) del MCH en Sevilla, mediante la aplicación de un conjunto de "normas" a los CBMs consumidos en su ejecución.

1.2.- Caracterización de variables representativas de la muestra. Se identifica el perfil de la Imagen de Referencia del MCH y sus límites, definidos por los extremos del intervalo intercuartílico³. Utilizaremos para ello el peso medio por m² construido de cada CBM de la muestra.

1.3.- Determinación de las emisiones de CO₂ por componente básico material. La estrategia llevada a cabo para lograr nuestros objetivos consistirá en establecer un conjunto de hipótesis que nos permitan adaptar la información medioambiental disponible, que ha servido de base para la constitución del banco BEDEC PR/PCT del ITeC (24), a nuestra Imagen de Referencia del MCH, para determinar las emisiones de CO₂ de los CBMs que la constituyen, expresadas en kgCO₂/kg de material.

ETAPA 2. Cuantificación de las Emisiones de CO₂ en el MCH. En esta etapa se cuantifican las emisiones de CO₂ que se producen en el MCH en Sevilla, siguiendo el desarrollo pormenorizado de las siguientes subetapas:

³ El que representa el 75 % de los recorridos centrales de las variables, BEESTON.

2.1.- Emisiones por m² construido. Para determinar las emisiones de CO₂ por m² construido correspondiente a cada uno de los CBMs, será necesario aplicar los valores obtenidos correspondientes al peso medio por m² construido de cada CBM de la muestra, a la Base de Datos de información medioambiental configurada, obteniendo así los resultados deseados en kgCO₂/m² construido.

2.2.- Coeficientes de relación entre imágenes. Es necesario extrapolar los resultados obtenidos para la Imagen de Referencia del MCH a su Imagen Original, mediante la determinación de los coeficientes de relación entre imágenes, que permitirán calcular la distancia que separa el MCH del conjunto de normas contenidas en su Imagen de Referencia, denominándose CRe, Coeficiente de Relación en la dimensión emisiones de CO₂, proceso que permitirá cuantificar las emisiones de CO₂ en kgCO₂/m² construido.

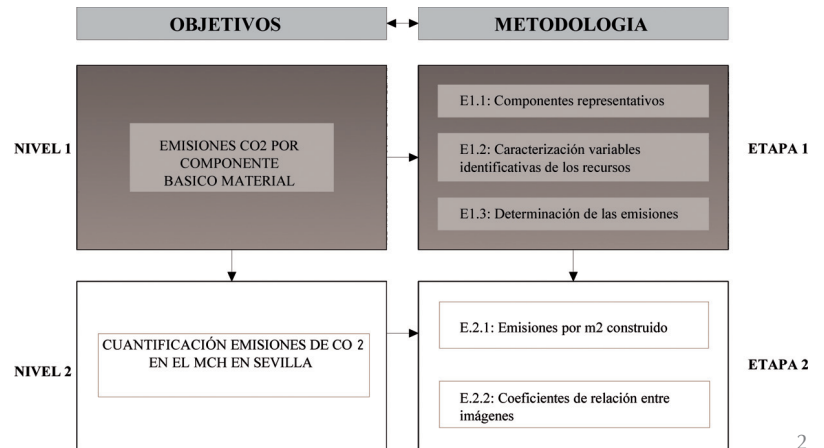
4. DESARROLLO DEL MODELO

En este apartado se lleva a cabo el desarrollo de las etapas 1 y 2 de la metodología.

ETAPA 1: Para la consecución de los fines deseados será necesario el desarrollo de las subetapas expuestas en la Figura 2 y las herramientas que la suceden.

- Herramienta informática de cálculo. El programa de tratamiento de datos y análisis estadístico Statistical Product and Service Solutions (25), (SPSS 11).
- Base de Datos de información medioambiental. Información facilitada por miembros del ITeC, constituyen la base para la creación del banco BEDEC PR/PCT. Recoge un total de ciento sesenta y ocho materiales empleados en la construcción de edificios, de los que se dispone en la actualidad de las emisiones de CO₂ derivadas del proceso de fabricación de 1 kg de material, hasta la puerta de la fábrica, no incluyendo ni transportes asociados ni puesta en obra (15). Los valores se expresan en kgCO₂/kg y su obtención procede de las diferentes auditorías efectuadas en empresas nacionales destinadas a la fabricación de los productos de construcción más utilizados en el sector.

Dado que los materiales de construcción utilizados en la ejecución del modelo de construcción estudiado, quedan recogidos en el citado listado y el entorno donde se ubica el modelo constructivo habitual, Sevilla, se engloba en el ámbito nacional en el que se han realizado las auditorías; se considera fiable y acertada la fuente de información utilizada.



1.1.- Determinación de componentes representativos de la muestra. El proceso llevado a cabo pormenorizadamente es el siguiente:

1.1.1. Definición de la Base de Datos de partida, la "Matriz de Cantidades Normalizadas (QN)". Esta Matriz [1] está constituida por las cantidades correspondientes a cada CBM de la muestra, en kg por m² de superficie construida, y presenta la forma siguiente:

$$[1] \quad QN = [QN_{p,s}]$$

Donde:

$p = 1, \dots, 10$. Número asignado a cada uno de los diez proyectos de ejecución que constituyen la muestra de estudio.

$s = a, \dots, z$. Componente Básico Material (CBM), ordenado por orden alfabético.

1.1.2. Obtención del conjunto de "normas" que van a sintetizar de forma justificada los CBMs representativos de la muestra. Las "normas de aplicación" obtenidas al efecto son consecuencia de un proceso de revisión de la Matriz de Cantidades Normalizadas (QN), en las que se ha considerado: el peso por m² de los materiales dentro de la edificación, las emisiones de CO₂ producidas en su fabricación, el coeficiente de participación del material en la muestra y la aplicación del intervalo intercuartílico. Son las siguientes:

- Agrupación de CBMs por similitud de características entre el material origen y el de destino, considerándose el material origen poco representativo dentro de la muestra. La agrupación se realiza entre aquellos CBMs que poseen similares características y que aparecen a lo sumo en dos de los diez proyectos de ejecución estudiados.

Ejemplo: El azulejo artesano de 15 x 15 cm y el azulejo blanco de 15 x 15 cm, se agru-

2. "Desarrollo de la Etapa 1 de la metodología"

pan con el azulejo color liso de 15 x 15 cm, sumándose sus cantidades.

- b. Agrupación de CBMs por similitud de características físico-químicas y de impacto ambiental. La agrupación tiene lugar en base a la similitud de características físico-químicas entre los materiales originales, considerándose el mismo elemento desde el punto de vista de nuestros objetivos; esto es, al poseer iguales valores en cuanto a las emisiones de CO₂ por kg, en su proceso de fabricación.

Ejemplo: El acero B-400 S, B-500 S y acero electrosoldado B-500 S en malla, poseen similares características físico-químicas.

- c. Eliminación de CBMs no representativos de la muestra. Se eliminan aquellos componentes que no pueden ser agrupados en ninguno de los apartados anteriores y aparecen a lo sumo en dos de los diez proyectos de ejecución estudiados, aceptando la hipótesis de que se comportan como la media, teniendo en cuenta su peso en la etapa siguiente.

Ejemplo: Una bomba circuladora (primario) 1200 L/H, 2MCA.

La matriz resultante [2], se denomina Matriz Derivada de CBMs representativos (R), constituida por las cantidades correspondientes a cada CBM representativo, tras llevar a cabo sobre la Matriz de (QN) las agrupaciones o eliminaciones de CBMs en base a las normas establecidas. Las cantidades siguen estando expresadas en la misma unidad de medida, el kg por m² de superficie construida.

$$[2] \quad R=[R_{p,s}]$$

Donde p y s tiene el mismo significado que en la matriz [1]

- 1.2.- Caracterización de variables representativas de la muestra. Se determinan los parámetros estadísticos siguientes, realizados mediante el programa de tratamiento de datos y análisis estadístico (SPSS. 11):

- a. El intervalo de confianza, definido por los extremos del intervalo intercuartílico[3].

$$[3] \quad \begin{aligned} R_{s,max} &= m_{p,ax} [IQR(R_{p,s})] \\ R_{s,min} &= m_{p,in} [IQR(R_{p,s})] \end{aligned}$$

- b. La media aritmética [4], como medida de tendencia central, calculada una vez eliminados los valores máximos y mínimos correspondientes a cada CBM representativo; esto es, la media de los valores centrales del recorrido.

$$[4] \quad R^* = \sum s [R_s - R_{smax} - R_{smin}] / 8$$

Posteriormente los datos se introducen en el programa de cálculo *Microsoft Excel*, para continuar con el proceso.

1.3.- Determinación de las emisiones de CO₂ por CBM. En esta etapa se determinan los parámetros medioambientales correspondientes a las emisiones de CO₂ que se producen en la fabricación de cada CBM definido, a fin de crear una Base de Datos medioambientales específica del MCH.

Las hipótesis establecidas que permiten enlazar la información medioambiental disponible a nuestro listado de CBMs representativos de la muestra, constituido por trescientos sesenta y siete elementos, son las siguientes:

- Hipótesis 1: CBMs constituidos por materia prima pura. De aplicación para aquellos CBMs representativos en los que puedan identificarse fácilmente la materia prima pura que los constituye. En este caso los valores correspondientes para las emisiones de CO₂, asignados de la fuente de información medioambiental disponible, son los correspondientes a dicha materia prima pura.

Ejemplo: En el CBM “sanitarios de chapa de acero esmaltado”, se puede identificar con claridad la materia prima que lo constituye, el acero esmaltado. Por lo tanto, el valor asignado del listado de información medioambiental disponible, será el correspondiente a las emisiones en la fabricación de 1 kg de acero esmaltado; esto es, 3,80659 kgCO₂/kg de material.

- Hipótesis 2: CBMs mixtos con prevalencia de uno de sus materiales constitutivos en su composición química. Aquellos casos en los que al desglosar los CBMs representativos de la muestra, en sus elementos constitutivos, uno de ellos prevalece en peso sobre los demás, el valor medioambiental asignado será el correspondiente al elemento más relevante, no considerándose el de menor entidad.

Ejemplo: En el CBM “acumulador 1000 l pvc ref.”, el componente material predominante es el PVC, pese a conocer que está constituido por otros elementos, éstos no son considerados relevantes, por lo que se desestiman. En consecuencia se asigna el valor medioambiental correspondiente al PVC del listado de valores medioambientales del ITeC; esto es, 10,33375 kgCO₂/kg de material.

- Hipótesis 3: CBMs mixtos puros. Son aquellos CBMs constituidos a lo sumo por dos materias primas diferentes. En esta hipótesis, le serán de aplicación los valores medioambientales correspondientes a cada uno de los elementos constitutivos del CBM, en el mismo porcentaje en que intervienen en su peso.

Ejemplo: En el CBM “acero en perfiles laminados”, los componentes constitutivos son el acero laminado y la imprimación antioxidante, el primero constituye el 90% del peso y el segundo interviene con un 10%. En este caso se descompone el CBM en sus elementos constitutivos, el acero laminado y la imprimación antioxidante y se toman independientemente los valores medioambientales correspondientes a cada uno de ellos en la misma proporción en la que intervienen en su peso; esto es:

El “*acer laminat*” cuenta con unas emisiones de CO₂ de 2,80000 kgCO₂/kg, dado que constituye el 90% de la materia prima que conforman los perfiles laminados, el valor medioambiental correspondiente a las emisiones de CO₂ de 90% de 2,80000 kgCO₂/kg = 2,52000 kgCO₂/kg.

En cuanto a la “*imprimació antioxidant*”, que cuenta con unas emisiones de CO₂ de 14,76000 kgCO₂/kg, los valores medioambientales correspondientes a las emisiones de CO₂ de 10% de 14,76000 kgCO₂/kg = 1,47600 kgCO₂/kg.

Para obtener los porcentajes en peso de los elementos descompuestos se acude a tres tipos de fuentes de información:

- Fuente 1: Cuantía geométrica mínima. El peso de cada elemento constitutivo del CBM mixto se obtiene mediante la aplicación de la cuantía geométrica mínima. Ejemplo: Vigueta semirresistente pretensada, constituida por acero en un 5,80% del peso de la vigueta y hormigón prefabricado en un 94,20%.
- Fuente 2: Muestra pesada en báscula. Se pesa en báscula en el lugar de suministro cada elemento en que se subdivide el CBM mixto de referencia. Ejemplo: Membrana de betún modif. alm. arm. polietileno de 4,0 mm., se descompone en betún asfáltico en un 97,71% y polietileno en un 2,29% del peso total.
- Fuente 3: Información comercial. El peso de cada elemento constitutivo del CBM referenciado se obtiene mediante la información facilitada por catálogos comerciales de los productos, siendo necesario en algunos casos obtener sus

dimensiones mediante aplicación del Modelo de Presupuestación de Obras (26). Ejemplo: panel de cartón-yeso con relleno celular, descompuesto en cartón yeso con un 75,89% del peso total y lana de roca en un 24,11 %.

- Hipótesis 4: CBMs equivalentes. Esta hipótesis se aplica en aquellos CBMs cuyas características físico-químicas no se definan. En este caso suponemos que la materia prima que lo constituye es un material equivalente en el listado de valores medioambientales del ITeC del que tomamos su valor de emisiones de CO₂.

Ejemplo: Un tensor metálico, suponemos que la materia prima que lo constituye es el acero y en consecuencia el valor medioambiental asignado es el correspondiente al acero, “*acer*” en el listado del ITeC, con unas emisiones de CO₂ de 2,80000 kgCO₂/kg.

- Hipótesis 5: CBMs no relevantes para la investigación. Los CBMs cuya descomposición en sus elementos constitutivos no aporten una información medioambiental relevante, regresan a formar parte de la muestra original, Imagen Original del MCH, suponiéndose que se comportan como la media.

Ejemplo: Los cartuchos fusibles de intensidad “A” variable. Están constituidos en numerosos filamentos y materiales de diferente composición físico-química, ninguno de ellos prevalece sobre los demás.

Para lograr el objetivo planteado en este nivel 1, la determinación por material de las emisiones de CO₂ derivadas del proceso de fabricación de cada uno de ellos, bastará con sumar los valores medioambientales de aquellos materiales considerados equivalentes, asignados mediante las hipótesis realizadas, a cada uno de los CBMs definidos como representativos del MCH en Sevilla, expresando los resultados en kgCO₂/kg.

Ejemplo: Una vigueta autorresistente pretensada se descompone en acero (5,80%) y hormigón prefabricado (94,20%), con lo que el cálculo del valor medioambiental correspondiente a las emisiones de CO₂ sería el siguiente:

$$\text{Emisiones de CO}_2 = 5,80\% \times 2,80000 \text{ kgCO}_2/\text{kg} + 94,20\% \times 0,21850 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 0,36823 \text{ kgCO}_2/\text{kg}$$

Los resultados obtenidos quedan recogidos en la Matriz de Datos Ambientales (DA) del MCH¹, que desarrollada en la Tabla 1, presenta la forma siguiente:

3. "Desarrollo de la Etapa 2 de la metodología".

Tabla 1. "Matriz de Datos Ambientales del MCH"

Código	CBMs representativos del MCH	EMISIONES DE CO ₂ kgCO ₂ /kg
AA9NNNNk _a	CBM _a	(kgCO ₂ /kg) CBM _a
IF22700k	Ej: Manguetón PVC Ø _{medio} mm.	10,33375
CV00200k	Ej: Vigueta autorresistente pretensada	0,36582
AA9NNNNk _z	CBM _z	(kgCO ₂ /kg) CBM _z

Donde las columnas muestran la siguiente información:

C1 = AA9NNNNk_s = Códigos correspondientes a los CBMs representativos de la muestra al que acompañan. Presentan el esquema definido en la Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA) (27), formado por siete caracteres, los dos primeros alfabéticos y los cinco restantes numéricos, al que se añade tras el último dígito numérico la letra "k", para expresar que los valores a los que representa están en kg. El número "9" sustituye el primer dígito numérico, generalmente "0", indicando que el CBM al que acompaña procede de una agrupación de CBMs en base a las normas establecidas

C2 = CBMs representativos del MCH definido en Sevilla, por orden alfabético.

C3 = Valores de las emisiones de CO₂ para el CBM específico al que acompaña, obtenido mediante la aplicación de las hipótesis anteriores, expresado en kgCO₂/kg.

Conclusiones etapa 1

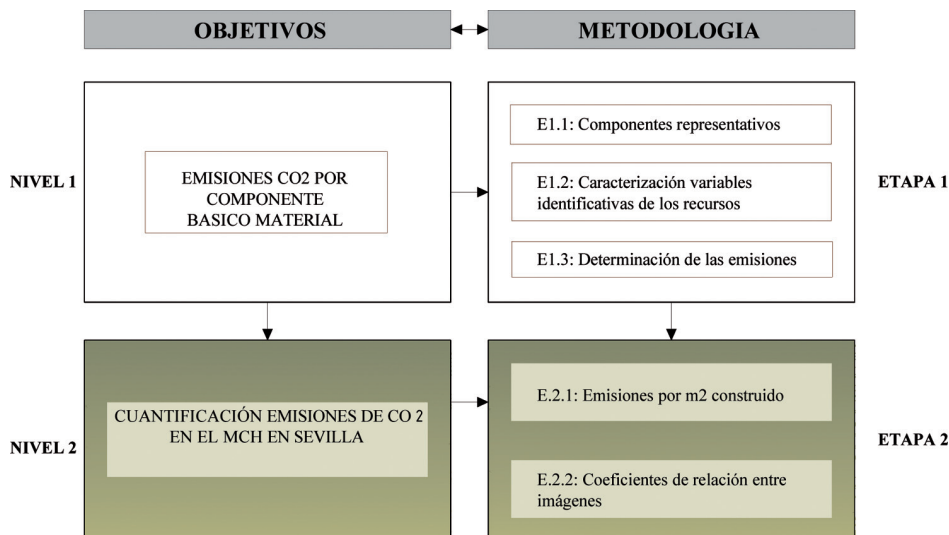
Se obtiene la Imagen de Referencia del MCH en Sevilla y se crea la Base de Datos medioambientales específica para los CBMs representativos de la ejecución del MCH, donde se especifican los valores correspon-

dientes a las emisiones de CO₂ producidas en el proceso de fabricación de los materiales a los que acompañan, en KgCO₂/kg.

ETAPA 2: Cuantificación de las emisiones de CO₂ en el MCH. Será necesario el desarrollo de las subetapas mostradas en la Figura 3 y las herramientas, obtenidas en etapas precedentes:

Las herramientas son las siguientes:

- Imagen Original del MCH. Constituida por todos los CBMs consumidos en la ejecución de los diez proyectos que constituyen la muestra objeto de estudio. Sus resultados, expresados en kg/m² construido, se recogen en la denominada Matriz de Cantidades Normalizadas (QN).
- Imagen de Referencia del MCH en Sevilla. Constituida por los componentes básicos materiales representativos de la muestra. Sus datos se configuran en la Matriz Derivada de CBMs representativos (R).
- Base de Datos medioambientales específica del MCH. Donde se recogen las emisiones de CO₂, en kgCO₂/kg, derivadas de la fabricación de los CBMs representativos del MCH, consumidos en su ejecución y que configuran la denominada Imagen de Referencia del MCH.



2.1.- Emisiones de CO₂ por m² construido. Se logran mediante la aplicación de la Base de Datos medioambientales específica del MCH a su Imagen de Referencia, multiplicando los valores obtenidos para las emisiones de CO₂ de cada CBM representativo del MCH, por el peso medio por m² construido de cada uno de ellos, obteniendo así los resultados en kgCO₂/m². Sus resultados constituyen la denominada Matriz de Datos Ambientales (DA) de la Imagen de Referencia del MCH, cuya configuración desglosada pormenorizadamente queda como sigue en la Tabla 2.

Ejemplo: Las emisiones de CO₂ derivadas del proceso de fabricación de una vigueta autorresistente pretensada era de 0,36582 kgCO₂/kg, a la vista de los resultados obtenidos en la subetapa 1.3. Si conocemos que su peso medio en la muestra es de 0,286 kg/m², las emisiones de CO₂ derivadas de su proceso de fabricación son las siguientes:

$$\text{Emisiones de CO}_2 = 0,286 \text{ kg/m}^2 \times 0,36582 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 0,10462 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2.$$

4. "Distancia (δ) entre imágenes".

Tabla 2. Matriz de Datos Ambientales de la Imagen de Referencia del MCH por m² construido

Código	CBMs representativos del MCH	Emisiones por CBM	Peso medio	Emisiones por m ²
		kgCO ₂ /kg	kg	kgCO ₂ /m ²
AA9NNNNk _a	CBM _a	E _a	R* _a	EC _a
AA9NNNNk _s	CBM _s	E _s	R* _s	EC _s
AA9NNNNk _z	CBM _z	E _z	R* _z	EC _z

Donde:

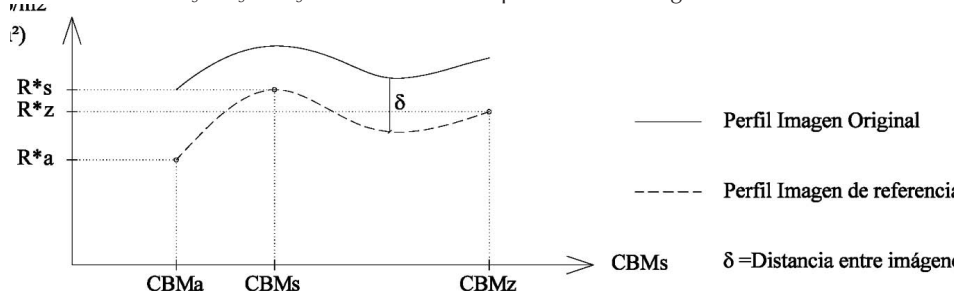
Cada fila "i" de la matriz recoge toda la información relacionada con cada uno de los CBM más representativos del MCH, en relación con el peso medio por m² construido y las emisiones de CO₂ por kg de material y por m².

E_s = Emisiones de CO₂ del CBMs, en kgCO₂/kg de material.

R*_s = Peso medio, en kg/m² construido, del CBM "s" que representa la muestra de los diez proyectos estudiados.

EC_s = Emisiones de CO₂ por m² construido correspondiente al CBMs, en kgCO₂/m² construido en el MCH definido. Los valores expresados en dicha columna son el resultado de multiplicar los valores medios correspondientes al peso por m² construido del CBM "s" (R*s), por el respectivo valor de las emisiones de CO₂ derivadas del proceso de fabricación del CBM específico "s" al que acompaña (E_s), expresado en kgCO₂/m². La fórmula es la siguiente [5]:

$$[5] \quad EC_s = E_s \times R^*_s$$



2.2.- Coeficientes de Relación entre Imágenes. Definida en la subetapa anterior la Imagen de Referencia (IR) del MCH en la dimensión correspondiente a las emisiones de CO₂ para cada uno de los CBMs representativos del MCH; en esta subetapa se pretende establecer una estrategia de cálculo que nos permita conocer las emisiones de CO₂ de la totalidad de CBMs que constituyen la Imagen Original del Modelo (IO⁴), expresando los resultados en kgCO₂/m² construido, a fin de que puedan utilizarse como patrón para la comparación de tipologías constructivas diferentes a la estudiada en futuras investigaciones.

La estrategia planteada consiste en superponer los perfiles correspondientes a la Imagen Original del MCH y su Imagen de Referencia, a fin de calcular la distancia (δ), que separa el MCH del conjunto de normas contenidas en su Imagen de Referencia.

Lo que gráficamente, como ejemplo, se representa en la Figura 4.

⁴ IO, Acrónimo con el que se identifica a la Imagen Original del MCH.

5. "Construcción del perfil IO en la dimensión Emisiones de CO₂ a partir del perfil correspondiente a la IR y la distancia δ₂".

Si con la aplicación del intervalo intercuartílico al proceso, aceptábamos que el rango definido por sus valores extremos (mínimo y máximo), recogía el 80%⁵ de los valores centrales del recorrido de las variables en relación con el peso medio por m² construido, expresado en kg/ m², de cada CBM de la muestra que definía el MCH en la IO del modelo, debe verificarse que la distancia (δ) es menor o igual al 20%, al representar el vacío de información existente de los CBMs que han sido eliminados, cumpliéndose por lo tanto la relación siguiente [6]:

$$[6] \quad \delta = (R^*/ R) \times 100 < 20 \%$$

Donde:

δ = Distancia entre la Imagen Original del MCH y su Imagen de Referencia.

R* = Peso medio, expresado en kg/m² en la Imagen de Referencia.

R = Peso medio, expresado en kg/m² en la Imagen Original.

Una vez verificada que la distancia (δ) existente entre ambas imágenes, definida como el cociente entre los pesos medios por m² construido de cada una de ellas, quedan dentro del intervalo de confianza de la muestra acotado por los extremos mínimo y máximo del Intervalo Intercuartílico; esto significa que los resultados contenidos en la IR reflejan al menos el 80% de los valores centrales del recorrido de la variable, lo que supone la revisión y aceptación del proceso realizado hasta el momento.

La aplicación del modelo de cuantificación a la muestra seleccionada permite verificar

su eficacia, al confirmarse que los CBMs seleccionados como representativos del MCH, constitutivos de la Imagen de Referencia del MCH, constituyen el **93,84%** de la totalidad de CBMs de la muestra que constituye la IO del Modelo (15).

En consecuencia, podemos aplicar el mismo criterio estadístico para definir la hipótesis que nos permita calcular la distancia (δ₂), que separan el perfil de la IR del MCH de su respectiva IO, en la dimensión de las emisiones de CO₂. Lo que expresado gráficamente para aclarar el concepto resultaría como en la Figura 5:

Verificada la validez, podemos concluir que los valores contienen la información correspondiente al 80% de los CBMs del MCH en la dimensión de las emisiones de CO₂ del recorrido de las variables en su respectiva IO.

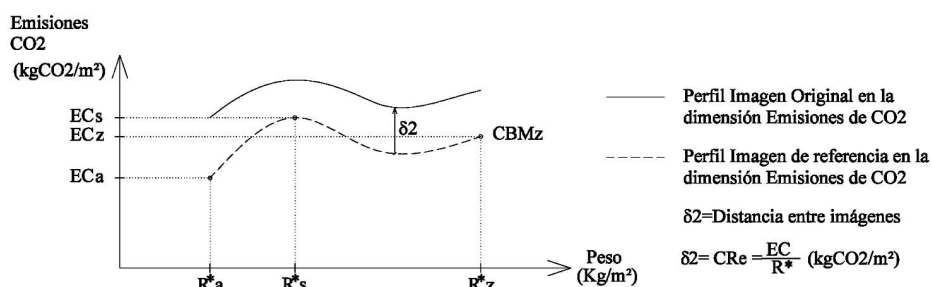
Analíticamente el Coeficiente de Relación en la dimensión emisiones de CO₂ (CRE), será el resultado de dividir las emisiones de CO₂ medias y el peso medio, ambos por m² que suponen los mismos en su correspondiente IR, obteniendo los resultados en kgCO₂/kg, mediante la siguiente relación [7]:

$$[7] \quad CRE = \delta_2 = EC / R^*$$

Donde:

δ₂=Distancia entre la Imagen de Referencia del MCH y su correspondiente IO.

R*=Peso medio, expresado en kg/m² construido correspondiente a los CBMs representativos del MCH en la Imagen de Referencia.



5

Tabla 3. "Matriz de resultados finales: Peso y emisiones de CO₂ por m² construido del MCH"

Código	CBMs	Peso medio		Emisiones de CO ₂	
		kg/m ²	% Edif.	kgCO ₂ /m ²	% Edif.
AANNNNNk _a	CBM _a	F _{R,a}	%	F _{EC,a}	%
AANNNNNk _s	CBM _s	F _{R,s}	%	F _{EC,s}	%
AANNNNNk _z	CBM _z	F _{R,z}	%	F _{EC,z}	%
Totales IR del MCH		F _R (IR)	100	F _{EC} (IR)	100
Totales del MCH		F _R	100	F _{EC}	100

⁵ Pese a que el intervalo intercuartílico habla del 75%, utilizamos el 80%, al optar por eliminar tan solo dos valores extremos, uno máximo y uno mínimo.

Finalmente multiplicando los valores correspondientes a cada una de las IR en la dimensión de las emisiones de CO₂ por su respectivo Coeficiente de Relación (CRe), habremos corregido la desviación existente entre las imágenes comparadas, debidas al vacío de información que supone la eliminación en la Imagen de Referencia de los CBMs marginales, dando cumplimiento al objetivo principal de la presente investigación. Los resultados finales configuran lo que denominaremos Matriz de Resultados Finales (F). De forma desglosada presenta la forma siguiente, Tabla 3.

Donde:

$F_{R,S}$ = El peso medio por m², expresado en kg/m² construido, del Componente Básico Material "s".

$F_{EC,S}$ = Las emisiones de CO₂ medias por m², expresado en kgCO₂/m² construido, del Componente Básico Material "s".

Las columnas especifican:

Peso medio: kg/m². El peso medio del CBM representativo al que acompaña.

% Edif. El peso del CBM representativo al que acompaña, con respecto al peso total de los CBMs representativos consumidos en la ejecución del MCH por m² construido.

Emisiones de CO₂: kgCO₂/m². Las emisiones de CO₂, derivadas del proceso de fabricación del CBM representativo al que acompaña.

% Edif. Las emisiones de CO₂, derivadas del proceso de fabricación del CBM representativo al que acompaña, con respecto a las emisiones de CO₂ totales de los CBMs representativos, derivados del proceso de fabricación de los CBMs consumidos en la ejecución del MCH por m² construido.

La penúltima fila representa los valores totales correspondientes a la Imagen de Referencia del MCH, para cada una de las dimensiones señaladas: peso y emisiones de CO₂, calculadas como:

$$\text{Peso medio IR} = R^* (\text{IR}) = \sum_s F_{R,S} \quad (s = a, \dots, z)$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ IR} = EC^* (\text{IR}) = \sum_s F_{EC,p} \quad (s = a, \dots, z)$$

La última fila de la matriz señala los valores totales correspondientes al MCH, calculados como:

$$\text{Peso medio IO} = R^* (\text{IO}) = QN_s \quad (s = a, \dots, z)$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ IR} = EC^* (\text{IR}) = [\sum_s F_{EC,p} \quad (p = 1, \dots, 10)] \times \delta_2$$

El concepto "total" recoge todos los valores correspondientes a los kg por m² construido de CBMs consumidos en cada columna de la matriz; esto es, en cada uno de los diez proyectos de ejecución estudiados.

5. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MODELO

El modelo generado ha permitido en este trabajo cuantificar las emisiones de CO₂ producidas en su ejecución, obteniendo en resumen los siguientes datos para los CBMs representativos del MCH definido, expresados en la Tabla 4:

Donde:

EC_{CBM} = Emisiones de CO₂ por cada CBM representativo del MCH, en kgCO₂/kg de material.

R^* = Peso medio, de cada CBM, en kg/m² construido.

Tabla 4. "Emisiones de CO₂ por kg de material y por m² construido del MCH"

Datos ambientales de la imagen de referencia del MCH			
CBMs representativos del MCH definido	EC_{CBM}	R^*	ECm^2
	kgCO ₂ /kg	kg/m ²	kgCO ₂ /m ²
Acero estructural y laminado	2,80000	30,76	86,13
Acero cromado, esmaltado, galvanizado	3,78887	5,21	19,74
Aditivo, disolvente, barniz y aceites	13,77640	7,29	100,43
Aluminio (anodizado y lacado)	31,45454	0,99	31,14
Áridos	0,03000	467,19	14,02
Betún asfáltico	6,49700	1,67	10,85
Cartón yeso	0,47415	22,44	10,64
Cemento	0,41122	29,40	12,09
Material cerámico	0,17516	132,56	23,22
Cobre y cobre recocido	14,82539	0,63	9,34
Hormigón celular y prefabricados	0,45617	31,26	14,26
Hormigón prefabricado y suministrado	0,21851	1026,79	224,37
Mortero prefabricado	0,22268	93,45	20,81
Neopreno	17,65333	1,50	26,48
Temple	14,72049	1,61	23,70
PVC	10,35576	1,04	10,77
Terrazo	0,21619	43,34	9,37
Otros (vidrio, metales, porcelana, cal, etc.)	0,31949	146,48	46,80
Totales imagen de referencia MCH		2043,61	694,16

6. "Representación de los CBMs que suponen mayores emisiones de CO₂".

Los valores expresados en la tabla se obtienen del Anexo VII de la tesis doctoral referenciada (15), al no ser objeto del presente trabajo.

ECm² = Emisiones de CO₂ por cada CBM y m² construido, obtenida mediante la expresión [8]:

$$[8] \quad ECm^2 = EC_{CBM} * (R^*)$$

En la última fila de la Tabla 4 se recogen los valores totales correspondientes al peso medio de los CBMs representativos de la muestra y las emisiones de CO₂ generadas por el consumo de los CBMs citados en la ejecución del MCH, ambos por m² construido para poder ser comparados en futuras investigaciones, eliminando el efecto negativo del tamaño de la muestra, lo que suponen un total de 2.043,61 kg/m² y 694,16 kgCO₂/m² respectivamente.

Para traducir los resultados anteriores al porcentaje que suponen cada CBM dentro de la edificación, se acompaña la Tabla 5 siguiente:

Lo que gráficamente puede observarse en la Figura 6, que refleja aquellos que generan un porcentaje mayor de emisiones en su fabricación. Para obtener los valores correspondientes a las emisiones de CO₂ totales en la Imagen Original se requiere la determinación de CRe, mediante la aplicación de la citada anteriormente expresión [7]:

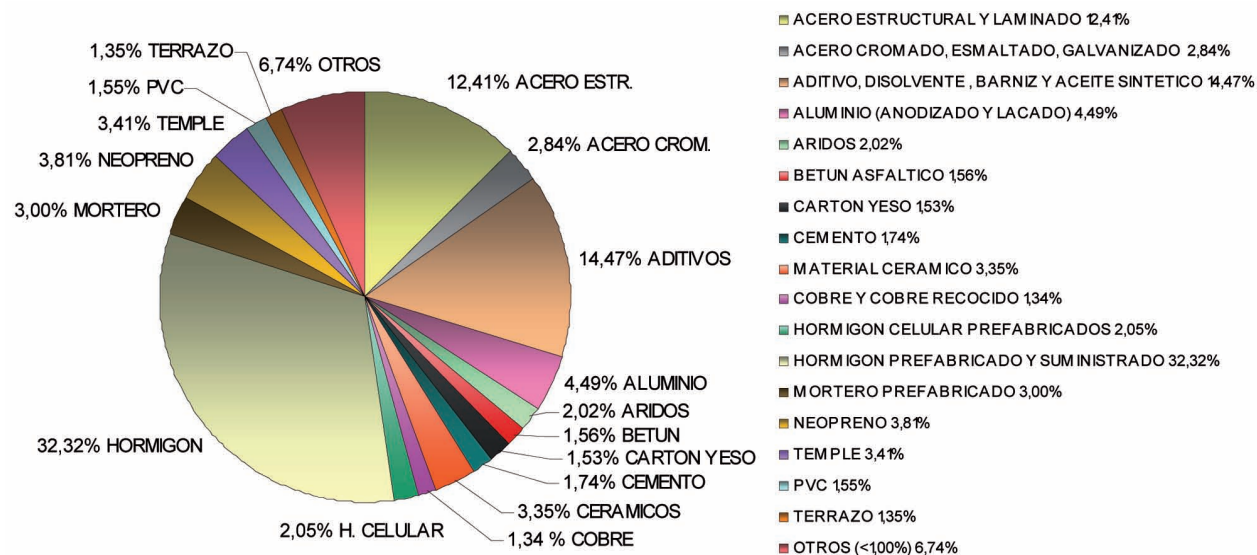
$$CRe = \delta_2 = EC / R^*$$

Resultando que CRe = $\delta_2 = EC / R^* = 694,16 / 2043,61 = 0,33967$

Finalmente, si multiplicamos CRe por el peso medio de la Imagen Original del MCH (R), asumido en la etapa 0.3 de la metodología

Tabla 5. "Matriz de resultados finales: Peso y emisiones de CO₂ por m² construido del MCH"

Matriz Final: peso, consumo energético y emisiones de CO ₂ por m ² construido del MCH				
CBMs representativos del MCH definido	Peso medio		Emisiones de CO ₂	
	kg/m ²	%Edif.	kgCO ₂ /m ²	%Edif.
Acero estructural y laminado	30,76	1,51	86,13	12,41
Acero cromado, esmaltado, galvanizado	5,21	0,25	19,74	2,84
Aditivo, disolvente, barniz y aceites	7,29	0,36	100,43	14,47
Aluminio (anodizado y lacado)	0,99	0,05	31,14	4,49
Aridos	467,19	22,86	14,02	2,02
Betún asfáltico	1,67	0,08	10,85	1,56
Carton yeso	22,44	1,10	10,64	1,53
Cemento	29,40	1,44	12,09	1,74
Material cerámico	132,56	6,49	23,22	3,35
Cobre y cobre recocido	0,63	0,03	9,34	1,34
Hormigón celular y prefabricados	31,26	1,53	14,26	2,05
Hormigón prefabricado y suministrado	1026,79	50,24	224,37	32,32
Mortero prefabricado	93,45	4,57	20,81	3,00
Neopreno	1,50	0,07	26,48	3,81
Temple	1,61	0,08	23,70	3,41
PVC	1,04	0,05	10,77	1,55
Terrazo	43,34	2,12	9,37	1,35
Otros	146,48	7,17	46,80	6,74
Totales imagen de referencia MCH	2043,61	100,00	694,16	100,00



y que suponía un valor de 2.177,738 kg/m² construido, obtenemos el valor correspondiente a las emisiones de CO₂ totales producidas en el MCH, derivadas de la fabricación de los recursos materiales consumidos en su ejecución, y que suponen un total de 739,712 kgCO₂/m² construido, obtenido mediante la expresión [9]:

$$[9] \quad EC_{\text{TOTAL}} = \delta_2 * R$$

Los resultados obtenidos mediante la aplicación práctica del modelo, pueden a su vez entenderse como kgCO₂e/m² y año, al señalar en la introducción que el potencial de calentamiento global para el CO₂ es de 1; por lo que serían igual los valores obtenidos para el CO₂ o CO₂ equivalente, y estimarse la ejecución del edificio en 1 año. De esta forma dispondremos de un modelo de referencia sobre el que comparar diferentes tipologías edificatorias en investigaciones futuras.

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas son las siguientes:

1. La metodología propuesta permite la selección homogénea de una muestra de edificios, representativos del MCH y constituir su Imagen de Referencia, estableciendo una diagnosis de la construcción andaluza, al identificar de entre los componentes básicos que la constituyen, los de mayor

impacto ambiental, consecuencia uno de los indicadores más importantes asociados al peso por m² de construcción; esto es, las emisiones de CO₂ derivadas del proceso de fabricación de los materiales de construcción empleados en su ejecución.

2. Permite desarrollar una base de datos medioambiental del MCH, relacionadas con el indicador emisiones de CO₂ por material, expresados en kgCO₂/kg, con capacidad para ser revisada y actualizada de forma permanente.

3. Permite establecer una Imagen de Referencia del MCH sobre el que poder ensayar y comparar diferentes soluciones constructivas alternativas a las convencionales, tendentes a conseguir una vida de los edificios más sostenible.

4. En ensayo del modelo a la muestra seleccionada de edificios, representativos del MCH en Sevilla, permite obtener la cuantificación de las emisiones de CO₂ (en kgCO₂/m² construido), así como el porcentaje que ocupan en la edificación.

En definitiva, la metodología propuesta y la generalización del modelo obtenido, extensible a cualquier tipología edificatoria y ámbito geográfico, permite cuantificar las emisiones de CO₂ totales del sector construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Baño, A.; Vigil-Escalera, A.: *Guía de Construcción Sostenible*, Edición ISTAS, Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud, 2005.
- (2) Wadel, G., Avellaneda, J., Cuchí, B.: "La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales", *Informes de la Construcción*, vol. 62, nº 517 (2010), pp. 37-51. doi: 10.3989/ic.09.067.
- (3) Cuchí, A., Wadel, G., López, F., Sagera, A.: *Guía de la eficiencia energética para administradores de fincas*, 1ª ed., p. 148, Fundación Gas Natural, Barcelona, España, 2007.
- (4) Conferencias de la ONU sobre medio ambiente. Disponible en http://www.cinu.org.mx/temas_sost/conf.htm. Consultado: 11/07/2011.
- (5) Meadows, D. H., Meadows D. L.: *Los límites del crecimiento: Informe al Club de Roma sobre el predicamento de la humanidad*, Fondo de cultura económica, México, 1973.
- (6) Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>. Consultado: 11/06/2011
- (7) XV Conferencia sobre el cambio climático de la ONU 2009: Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/XV_Conferencia_sobre_el_Cambio_Clim%C3%A1tico_de_la_UNU_2009. Consultado: 06/05/2011.
- (8) Cuchí, A.; López, I.: *Informe MIES: una Aproximación al impacto Ambiental de la Escuela de Arquitectura del Vallés*. Universita Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 1999.
- (9) Álvarez-Ude, L., Casanovas, X., Cuchí, A., Baldrich, X., García de Vinuesa, L., Díaz, L.: *Análisis de los materiales empleados en la edificación en la isla de Lanzarote desde una perspectiva medioambiental*, Caja Insular de Ahorros de Canarias, Equipo Life 2001-2004, Cabildo de Lanzarote, 2004, p.118.
- (10) Jara, C. A.: Trabajo Fin de Máster: *Alternativas para la reducción de emisiones de CO₂ del sector doméstico del municipio de Santa María de Palautordera*, Universidad Politècnica de Catalunya, 2010. Disponible en <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/11103/1/tesis-cesar-jara-gonzalez.pdf>. Consultado: 11/07/2011.

- (11) Alonso, C., Oteiza, I., García, J.: "Criterios para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el proyecto de fachadas de edificios de viviendas", Actas II Congreso Nacional de Investigación y Edificación, Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2010.
- (12) Claro, J. C.: "Herramientas de control de las emisiones de CO₂ en edificios residenciales. Proyecto TRISCO", Actas I Congreso Nacional de construcción sostenible y soluciones ecoeficientes, Ed. Mercader, P. y secretariado de recursos audiovisuales y nuevas tecnologías de la Universidad de Sevilla, Sevilla, 2011.
- (13) Davies, P., Osmani, M.: "Low carbon housing refurbishment challenges and incentives: Architects' perspectives", *Building and Environment*, vol. 46 (2011), pp.1691-1698. doi: 10.1016/j.buildenv.2001.02.011.
- (14) Morton, T. A., Bretschneider, P., Coley, D., Kershaw, T.: "Building a better future: An exploration of beliefs about climate change and perceived need for adaptation within the building industry", *Building and Environment*, vol. 46 (2011), pp. 1151-1158. doi: 10.1016/j.buildenv.2010.12.007.
- (15) Mercader Moyano, M^a P.: *Cuantificación de los recursos consumidos y emisiones de CO₂ producidas en las construcciones de Andalucía y sus implicaciones en el Protocolo de Kioto*, vol. I, p.249. Tesis doctoral. Secretariado de publicaciones de la Universidad de Sevilla, Sevilla, 2010. Disponible en http://fondosdigitales.us.es/tesis/resultados_busqueda?authors__in=1215. Consultado: 01/12/2010.
- (16) AA.VV.: *Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012: Programa de Mitigación*, Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente. Disponible en <http://www.junta-deandalucia.es/medioambiente/site/web/menuitem.a5664a214f73c3df81d8899661525ea0?vgnextoid=33294bf8796f2110VgnVCM100000624e50aRCRD&vgnnextchannel=5849185968f04010VgnVCM1000001625e50aRCRD>. Consultado: 26/05/2010.
- (17) Mercader, M^a P., Marrero, M., Solís, J., Montes, M^a. V., Ramírez de Arellano, A.: "Cuantificación de los recursos materiales consumidos en la ejecución de la cimentación", *Informes de la Construcción*, vol. 62, n^o 517 (2010), pp. 125-132. doi: 10.3989/ic.09.000.
- (18) Edificación y vivienda: 1990-1998. Ministerio de Fomento de España. Dirección General de Programación Económica, Madrid, España, 1999.
- (19) Edificación y vivienda: 1994-1999. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento, Madrid, España 2000.
- (20) Edificación y vivienda: 1998-2003. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento, Madrid, España 2004.
- (21) Construcción de Edificios 1999-2004. Centro de Publicaciones Secretaría de Estado de Infraestructuras. Dirección General de Programación económica, Madrid, España, 2005.
- (22) Construcción de edificios 2003-2007. Madrid: Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras. Dirección General de Programación económica, Madrid, España, 2008.
- (23) Ramírez de Arellano, A.: *La Teoría de sistemas al Servicio del análisis de Presupuesto de Obra*, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla (1989), p. 456.
- (24) ITEC. Metabase-TCQ 2000: Datos Ambientales. ITEC, Barcelona, Cataluña, 2005. Disponible en <http://www.itec.cat>. Consultado: 6/11/2010.
- (25) Pardo, A., Ruiz, M. A.: *SPSS 11. Guía para el análisis de datos*, Mc. Graw Hill, Madrid (2002), p. 715.
- (26) Ramírez de Arellano, A.: *Presupuestación de obras*, 4^a ed. (actualizada con la gestión de RCD), Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Sevilla (2010), p. 480.
- (27) Ramírez de Arellano, A. et al.: *Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2009*, Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía. Disponible en http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&ct=-1&pmsa=0&e=biblioteca_archivos/./planificacion/publicaciones/banco_precios_construccion/bcca08/bcca08.html. Consultado: 25/03/2011.

* * *