

# COMPARACIÓN DE LOS COSTES A LA SOCIEDAD DEL IMPACTO DE LAS EMISIONES PRECURSORAS DE OZONO ENTRE FORJADOS IN SITU Y FORJADOS PREFABRICADOS

Elena Mulet, Belinda López-Mesa, Alicia Aguilera

*Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I. Castellón*

## Abstract

This work provides a comparison of the society costs produced by the troposphere ozone emissions impact of in situ cast floors versus precast concrete floors.

Based on the results from studies which analyse the life cycle environmental impact of these building systems obtained with CML2 baseline method, this work provides an estimation of the costs produced to the society, in terms of health damage and crops losses by means of dose-response functions. The economic value of the health damage has been obtained by means of an estimation of the number of several respiratory symptoms. The damage to crops has been calculated from the loss in the yield. This study has been done for Spain considering data from 2006.

As a result, structures with in situ cast floors produce a cost which is around a 25% higher than the cost produced by structures with precast concrete floors.

**Keywords:** building external costs, ozone impact

## Resumen

Este artículo compara los costes a la sociedad provocados por el impacto de las emisiones precursoras de ozono entre forjados in situ y forjados prefabricados.

A partir de recientes estudios que analizan el impacto ambiental de dichos elementos constructivos considerando todo el ciclo de vida, mediante el método CML2 baseline, este artículo estima los costes provocados a la sociedad a través de funciones de relación entre la dosis de contaminación atmosférica y el efecto en términos de daños a la salud y a las cosechas. El coste de los daños provocados a la salud se obtiene a partir del número de afectados por enfermedades y síntomas respiratorios. El daño a las cosechas se obtiene a partir de la pérdida de rendimiento de éstas. El estudio se ha realizado para España en el año 2006.

Como resultado se obtiene que las estructuras de forjados construidos in situ suponen alrededor de un 25% más de coste a la sociedad que las de los forjados prefabricados.

**Palabras clave:** costes externos de la construcción, impacto de los precursores de ozono

## 1. Introducción

A lo largo de su ciclo de vida, un elemento constructivo genera un impacto ambiental que ocasiona un perjuicio a la sociedad. Uno de estos impactos es el de las emisiones atmosféricas generadas en la extracción y fabricación de los materiales de construcción, así

como las generadas por la energía consumida para dicha extracción y fabricación y la energía consumida en el uso y mantenimiento de los edificios. Las emisiones atmosféricas provocan fenómenos como el smog de verano, la acidificación, el calentamiento global, etc., que influyen en la salud de la población, el rendimiento de las cosechas, el deterioro de los edificios, etc.

Hasta el momento, el coste provocado a la sociedad por la mala calidad del aire se ha estudiado para grandes sectores como el energético, el de transporte, etc. Sin embargo no se ha estudiado el coste a la sociedad en el sector de la construcción, en parte por la falta de datos rigurosos del impacto ambiental de los elementos constructivos a lo largo de todo su ciclo de vida.

El conocimiento del coste que provoca en la sociedad el impacto ambiental de la construcción proporcionará nueva información práctica para la selección adecuada de materiales constructivos en la fase de proyecto.

Este primer trabajo se centra en el efecto de las emisiones causantes de ozono troposférico, lo que se conoce como oxidación fotoquímica o smog de verano, que en España superan los valores recomendados por los estándares europeos (EEA, 2006), y que repercuten principalmente en la salud de la población y también en pérdidas de cosechas agrícolas.

Los daños a la salud consisten en pérdida de la esperanza de vida (mortalidad crónica), así como síntomas respiratorios varios.

Los daños en las cosechas se traducen en una pérdida de producción respecto a una situación en la que la acumulación de precursores de ozono no supera un umbral límite.

El objetivo de este trabajo es comparar el coste provocado a la sociedad por el impacto de estas emisiones de una estructura de forjado prefabricado con una estructura de forjados construidos in situ.

## 2. Caso de estudio

El primer tipo de forjado estudiado (Figura 1a), forjado unidireccional de hormigón armado con viguetas fabricadas in situ y bovedillas de hormigón, es una de las soluciones de forjado más extendidas en el sector residencial en España. El segundo tipo de forjado (Figura 1b), un forjado de placas alveolares, está siendo cada vez más utilizado en edificación, pero su uso no es aún común en el sector residencial en España.

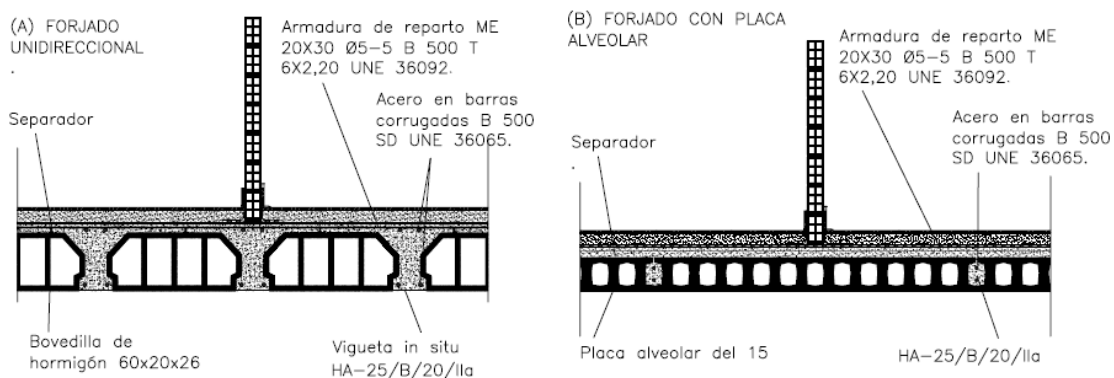


Figura 1. Sección de los forjados estudiados

Se sabe que los forjados de placas alveolares son de mayor calidad y más rápidos de instalar que los in situ, siendo su precio también más elevado. En un estudio previo (López-

Mesa, et al., 2009), comprobamos que también desde un punto de vista medioambiental el forjado de placas alveolares es mejor que el in situ. El análisis de costes a la sociedad que aquí desarrollamos está basado en los resultados de impacto ambiental de ese estudio previo.

En el mencionado estudio (López-Mesa, et al., 2009) comparamos no sólo los forjados en sí, sino también el resto de la estructura de un edificio residencial en altura de tamaño medio (planta baja más cuatro más dos sótanos con superficie en planta de 430 m<sup>2</sup>) porque una de las ventajas que ofrecen las placas alveolares es que, al ofrecer mayor resistencia mecánica, permiten mayores luces de forjado, y por tanto, una reducción importante en número de pilares y zapatas. De hecho, según los resultados obtenidos mediante el método EPS 2000, usando el programa de Análisis de Ciclo de Vida Sima.Pro 7.0 (Goedkoop, et al., 2006), los forjados alveolares en sí producen mayor impacto que los forjados in situ, pero cuando se considera la totalidad de la estructura, el uso de forjados alveolares, resulta ser más ventajoso desde el punto de vista medioambiental que el uso de forjados in situ.

En el presente estudio, comparamos los mismos forjados con sus estructuras, pero el método de Análisis de Ciclo de Vida empleado es diferente. En el estudio anterior usamos el método EPS 2000 (Steen, 1999) porque lo consideramos el método más fiable cuando el objetivo es comparar dos o más sistemas para saber cuál es el más impactante, para lo que es necesario el controvertido paso final en el Análisis de Ciclo de Vida conocido como ponderación final (end-weighting). En el método EPS 2000 la ponderación final está basada en los métodos de costes, considerados los más fiables para este paso de ponderación final (Dobbelsteen AAJF, et al., 2007). Sin embargo, como en este artículo no necesitamos una ponderación final porque el objetivo es conocer los costes a la sociedad, nos interesa usar un método que proporcione los impactos ambientales que vamos a estudiar, para este primer trabajo, la oxidación fotoquímica, medida en Kg equivalentes de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. Por ello hemos escogido el método CML 2 baseline 2000 incorporado al programa Sima.Pro 7.0 (Goedkoop M, 2006).

### **3. Metodología**

La transformación del impacto de las emisiones atmosféricas en valor monetario es un proceso complejo en el que influyen muchos aspectos y en el que se han planteado distintas aproximaciones.

Para evaluar los costes a la sociedad considerando el ciclo de vida destacan el método de "Full costs environmental accounting" (FCEA), que cuantifica el coste a lo largo de todo el ciclo de vida haciendo especial hincapié en los aspectos ambientales; y el de "Life cycle cost assessment" (LCCA), que identifica las consecuencias ambientales de un producto o servicio y asigna específicamente un valor monetario a las mismas. Existen algunas herramientas LCCA para evaluar el coste del impacto de la construcción tales como: Bees (USA) (National Institute of Standards and Technology, 2002), EcoQuantum (Netherlands) (Mak, et al., 1997), Beat (Dinamarca) (Hansen and Dammann, 2002) o EcoEffect (Sweden) (Assefa, et al., 2007).

En este caso, la estimación de los costes a la sociedad se ha realizado a través de una serie de fases:

- Estimación de las concentraciones de precursores de ozono
- Estimación de los años a la salud y las cosechas
- Traducción de los daños a un valor económico.

El enfoque utilizado para estimar el valor económico del impacto de los precursores de ozono de los forjados es estimar en primer lugar el valor económico del impacto de las

emisiones totales y compararlo con el valor económico del impacto provocado en caso de que no se utilicen forjados. Dado que el impacto de un único forjado es insignificante en comparación con el producido por las emisiones totales, se ha estimado el impacto del total de los forjados y estructuras del número de edificios equivalentes a 7 plantas construidos en el 2007. Para ello se han utilizado datos del Censo de Viviendas y datos estadísticos de la construcción (INE, 2009) y posteriormente se ha calculado el coste para una única estructura.

Los siguientes sub-apartados desarrollan cada una de las fases del método aplicado.

Los daños generados por los precursores del ozono se producen tanto a nivel local como regional, siendo los daños a la salud y mayores en áreas metropolitanas que en zonas rurales. Sin embargo, el efecto en las cosechas es independiente de la localización de las fuentes de emisión, por lo que se considerará únicamente el impacto a nivel regional.

Se toma como datos de referencia las emisiones totales de precursores del ozono y la concentración correspondiente al año 2006 obtenidas del EMEP (*European Monitoring and Evaluation Programme*) (EMEP, 2009).

### 3.1 Estimación de la concentración de precursores de ozono.

Esta fase consiste en determinar la concentración de ozono troposférico correspondiente a las emisiones equivalentes de C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> en un escenario en el que no existiesen estructuras.

El tiempo de vida de una estructura utilizado para calcular el impacto ambiental considerando todo el ciclo de vida es de 50 años, si bien, las cargas ambientales que generan estos elementos estructurales se producen únicamente hasta que la estructura está terminada, por lo que se ha utilizado el número de edificios cuya construcción terminó en el 2007. La Tabla 1 indica las emisiones causantes del ozono troposférico en kilos equivalentes de C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> para cada tipo de estructura obtenidas según se ha explicado en el apartado 2 (López-Mesa, et al., 2009). La segunda columna indica la cantidad total de emisiones que generarían las estructuras de todos los edificios, según el tipo de forjado.

	Emisiones equivalentes de una estructura (Kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	Emisiones del número equivalente de edificios de 7 plantas terminados en 2007 (Kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )
Forjados in situ	164	8001577
Forjados prefabricados	139	6781825

Tabla 1. Emisiones causantes de ozono troposférico de cada tipo de estructura.

Los modelos de contaminación atmosférica predicen la variación en las concentraciones de contaminantes en función de las emisiones (Amann, et al., 2005, Toll and Baldasano, 2000), etc. Estos modelos son complejos y requieren de muchas simulaciones, por lo que para estimar la concentración se han utilizado predicciones de los cambios que se producen en la concentración de ozono en función de la reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub> y de VOC en España publicadas en (Simpson, et al., 1997). La predicción en la concentración de ozono en ausencia de estructuras se ha estimado suponiendo que la variación del ozono por reducción de las emisiones equivalentes de C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> es proporcional a la producida por la reducción en NO<sub>x</sub>. Si bien, esto no es así exactamente, sí es suficiente para un primer estudio comparativo. La Tabla 2 muestra la concentración estimada en ausencia de estructuras de forjados prefabricados y de forjados in situ.

Emisiones totales en España en 2006 (EMEP) (Toneladas eq C2H2)	4433597,56
Emisiones totales en España sin la construcción de edificios con forjados in situ (Toneladas eq C2H2)	4425704,82
Emisiones totales en España sin la construcción de edificios con forjados prefabricados (Toneladas eq C2H2)	4426815,73
Concentración en España en 2006 (EMEP) (Ppb eq C2H2)	37,6335
Estimación de la concentración en ausencia de edificios con forjados in situ (Ppb eq C2H2)	37,625419
Estimación de la concentración en ausencia de edificios con forjados prefabricados (Ppb eq C2H2)	37,626721

Tabla 2. Estimación de concentración de ozono troposférico en ausencia de estructuras.

### 3.2. Estimación de los daños provocados a la salud y las cosechas

Para estimar el impacto que provoca dicha concentración de precursores de ozono, se aplican funciones de concentración-respuesta (fC-R) para estimar los daños a la salud. Estas funciones se han obtenido de la metodología actualizada del proyecto (Bieckel and Friederick, 2005). Algunos efectos del ozono en la salud se dan en toda la población, mientras que otros sólo son significativos en algunos grupos, tales como niños, enfermos de asma, etc.

Siguiendo las recomendaciones de la Convención UNECE (United Nations Economic Comisión for Europe) de la Organización Mundial de la Salud (WHO-UNECE), los daños en la salud provocados por la concentración de ozono se considerarán para concentraciones mayores a 35 ppb.

El efecto local sobre la salud en núcleos urbanos se establece a partir de un factor (factor urbano,  $F_u$ ) que mayor a el efecto en función del tamaño del área metropolitana.

El número de casos de pérdida de esperanza de vida por causa del ozono se mide a través del aumento de la tasa de mortalidad a una determinada concentración, calculado según la ecuación (1).

$$N_{total\_años\_perdidos} = T.M \times 6 \cdot 10^{-4} \times (1,25 \times POCP(ppb)_{día} - 35(ppb)) \left[ \frac{Habs\_r + \sum_i (F_{u_i} \times Habs\_m_i)}{Habs\_m_i} \right] \times N_{años\_perdidos} \quad (1)$$

El número de casos de enfermedades y síntomas respiratorios ocasionados por la concentración de precursores de ozono se calcula mediante las siguientes funciones:

$$Caso_{s_{RHA}} = 2,5 \cdot 10^{-5} \times \left( (1,25 \times POCP(ppb)_{día} - 35(ppb)) \left[ \frac{Habs\_r^{65+}}{+ \sum_i (Fu_i \times Habs\_m^{65+})} \right] \right) \quad (2)$$

$$Caso_{s_{MRADs}} = 0,023 \times \left( (1,25 \times POCP(ppb)_{día} - 35(ppb)) \left[ \frac{Habs\_r^{65+}}{+ \sum_i (Fu_i \times Habs\_m^{65+})} \right] \right) \quad (3)$$

$$Caso_{s_{asma}} = 0,146 \times \left( (1,25 \times POCP(ppb)_{día} - 35(ppb)) \left[ \frac{Habs\_r^{20+}}{+ \sum_i (Fu_i \times Habs\_m^{20+})} \right] \right) \quad (4)$$

$$Caso_{s_{dsr}} = (0,186 \times C_{tf} + 0,032 \times C_{otros}) \times \left( (1,25 \times POCP(ppb)_{día} - 35(ppb)) \left[ \frac{Habs\_r^{5-14}}{+ \sum_i (Fu_i \times Habs\_m^{5-14})} \right] \right) \quad (5)$$

Donde:

i= categoría de urbe por su tamaño

POCP (ppb): concentración de potencial de formación fotoquímico de ozono

TM= tasa de mortalidad, número de fallecidos por cada 1000 habitantes.

Fu= factor que estima el efecto local en la salud de la concentración de precursores de ozono.

Habs\_r<sup>edad</sup> = n° de habitantes de las zonas no incluidas en las áreas metropolitanas pertenecientes al grupo de edad indicado (zonas rurales).

Habs\_m<sup>edad</sup> = n° de habitantes de las zonas metropolitanas pertenecientes al grupo de edad indicado.

N<sub>años perdidos</sub>= es el número medio de años de vida perdidos por una determinada causa

- RHA, (Admisiones hospitalarias por problemas respiratorios): se define como 3 días de tratamiento hospitalario y 5 días más en cama por problemas respiratorios (Ready, et al., 2004).

- MRADs, (Días de Actividad Minoritariamente Restringida).

- asma: casos de padecimiento de síntomas asmáticos

- tf: casos de padecimientos de tos y flemas en niños

- otros: casos de padecimiento de otros síntomas respiratorios menores en niños

El impacto en las cosechas de los precursores de ozono se obtiene aplicando funciones de concentración-respuesta (fC-R) . Estas funciones devuelven la pérdida en cosechas, medida como masa por unidad de superficie cultivada y se han obtenido del estudio para la UNECE realizado por (Holland, et al., 2002).

El efecto en la pérdida de cosechas agrícolas viene dado por la suma de las diferencias de la concentración de ozono sobre 40 ppb durante los meses de recolección, lo que se conoce como el parámetro AOT40, que se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$AOT40(ppb \cdot h) = 736,3 \times POCP(ppb)_{día} - 13817 \quad (6)$$

La función de pérdida viene indicada por la siguiente expresión:

$$Pérdida\_cosechas = (1 - (a \times AOT40 + b)) \times Yield(Hg / Ha) \times Área(Ha) \quad (7)$$

La función fC-R determina la variación del rendimiento de una cosecha, rendimiento que se mide por el ratio entre la cantidad recolectada (expresada en hectogramos) recolectados y las hectáreas de superficie (Yield).

En la estimación de este coste se incluyen las especies agrícolas con mayor extensión de cultivo en España, más aquellas que tienen un precio elevado, y que son las indicadas en la Tabla 3, junto con sus respectivos coeficientes a y b para la función que calcula las pérdidas.

Especie	Coeficiente a	Coeficiente b
Patata	$-6 \cdot 10^{-6}$	0,9738
Remolacha azucarera	$-6 \cdot 10^{-6}$	1,0039
Arroz	$-4 \cdot 10^{-6}$	0,9416
Maíz	$-4 \cdot 10^{-6}$	1,0217
Algodón	$-2 \cdot 10^{-5}$	1,0693
Tabaco	$-6 \cdot 10^{-6}$	1,0356
Sandía	$-3 \cdot 10^{-5}$	0,9733
Uva	$-3 \cdot 10^{-6}$	0,986
Tomate	$-1 \cdot 10^{-5}$	1,047
Lechuga	$-1 \cdot 10^{-5}$	1,0345
Cebolla	$-1 \cdot 10^{-5}$	1,0122

Tabla 3. Coeficientes de las funciones de pérdida de distinto productos agrícolas.

### 3.4. Caso de aplicación

Para el caso de estudio, los costes se obtienen multiplicando el daño por un coste unitario de daño.

El coste por mortalidad se calcula multiplicando el número de años de vida perdidos, según la ecuación indicada en el subapartado 3.2 por el coste de un año de la vida perdido.

Los datos de tasa de mortalidad y de población total en España se han obtenido del INE:

- Tasa de mortalidad, 2004: 8,71 habitantes por cada 1000.
- Nº total de habitantes en España, 2004: 41000000.

El impacto en la salud se produce tanto a nivel regional como a nivel local, de manera que el efecto de la concentración de precursores de ozono es mayor en áreas metropolitanas que en pequeños municipios y zonas rurales. La Tabla 4 indica el reparto de los grupos de población afectados por el ozono en función del tipo de núcleo poblacional. En la misma tabla el factor de impacto local indica el peso relativo de los efectos en la salud de la población en dichas áreas metropolitanas en comparación con las áreas rurales (factor =1).

Para obtener el número de asmáticos se ha considerado que el 5% de las personas en España padece asma, tal y como indica el Ilustre Colegio Oficial de Médicos de Madrid. Aplicado a la población de más de 20 años de España, el nº de afectados es de 1623000 personas (según datos censales de 2001).

Categoría áreas metropolitanas	Factor de impacto local	Total población	>65 años	>20 años con asma	5-14 años
Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla	12	13542000	2599024	557921	1116348
Málaga, Alicante-Elche, Zaragoza, Las Palmas GC, Cádiz, Murcia, Palma Mallorca, Granada, Vigo, Tenerife, San Sebastián, La Coruña, Valladolid, Tarragona, Córdoba, Pamplona	5	10043000	1602263	400382	961488
Rural	-	17415186	2778423	694287	1667280

Tabla 4.- Distribución personas por municipios y por grupos de edades.

Para calcular el coste por caso de mortalidad se aplica el método de medida del indicador VLYL (Valor monetario de un año de vida perdido), con una tasa de descuento  $r=3\%$ , con lo que resulta un VLYL de 81060 €. El tiempo de vida perdido es de 9 meses.

Para calcular el coste por las pérdidas en las cosechas se han recogido datos de superficie destinada a producción, producción y coste unitario de aquellas especies que, siendo sensibles a la contaminación por los precursores de ozono, tienen una superficie de cultivo relevante en España. Estos datos se indican en la Tabla 5.

Spain	Area (Ha)	Yield (Hg/Ha)	Precio (€/Mt)
Remolacha azucarera	102.100	653.957	43,7
Tomates	70.400	635.451	588,0
Sandía	16.100	450.248	215,9
Potatas	93.300	277.781	267,9
Lechuga	39.000	235.897	394,0
Maíz	422.100	93.596	151,9
Arroz	117.000	72.299	218,2
Uvas	949.100	61.951	503,2
Algodón	85.900	38.289	219,2
Hojas de tabaco	13.747	29.237	517,9
Cebollas	24.500	643.422	722,6

Tabla 5.- Superficie destinada a diversas especies, producción y precio unitario. Fuente: FAOSTAT, año 2006 (FAO, 2006).

El coste de los daños a la salud se indica en la Tabla 6 para cada uno de los tipos de síntomas asociados a la contaminación por precursores de ozono actualizados mediante el IPC al 2006 y trasladados a España.

RHA (€/caso)	MRAD (€/día)	Síntomas asmáticos (€/caso)	Tos y flemas en niños (€/caso)	Otros síntomas respiratorios menores en niños (€/caso)
4313	40	142	42	42

Tabla 6.-Coste de los daños a la salud por enfermedades respiratorias. 2006. Fuente: RHA y MRAD del UNITE (UNITE, 2003) y el resto del ExterneE 2005. RHA: admisiones hospitalarias por problemas respiratorios; MRADs: días de actividad minoritariamente restringida.



#### 4. Resultados

Las Tablas 7 y 8 muestran el coste de los daños a la salud, a las cosechas y totales para los dos tipos de forjados, considerando una única estructura (Tabla 7) y considerando todas las estructuras de España (Tabla 8). La figura 2 muestra cada uno de los costes para el número total de estructuras construidas en un año. Tal y como se observa, las estructuras con forjados fabricados in situ son un 25% más costosas para la sociedad que las prefabricadas. La diferencia del coste, considerando una sola estructura del tipo de la analizada es muy pequeña, ya que se trata de costes muy pequeños. Si se tiene en cuenta el número total de edificios construidos en un año, la diferencia asciende a más de 1 millón de euros.

	IN SITU	PREFABRICADO	Diferencia
Coste salud (€/estructura tipo)	1,90	1,51	0,39
Coste cosechas (€/estructura tipo)	0,15	0,13	0,02
Coste salud + cosechas (€/estructura tipo)	2,05	1,64	0,41

Tabla 7. Coste generado por las emisiones precursoras de ozono por una estructura.

	IN SITU	PREFABRICADO	Diferencia
Coste salud (€/total edificios)	4963448	3946615	1016834
Coste cosechas (€/total edificios)	389807	331336	58471
Coste salud + cosechas (€/total edificios)	5353255	4277951	1075305

Tabla 8. Coste generado por las emisiones precursoras de ozono por el total de estructuras equivalentes a 7 plantas, en base al censo de edificios de España.

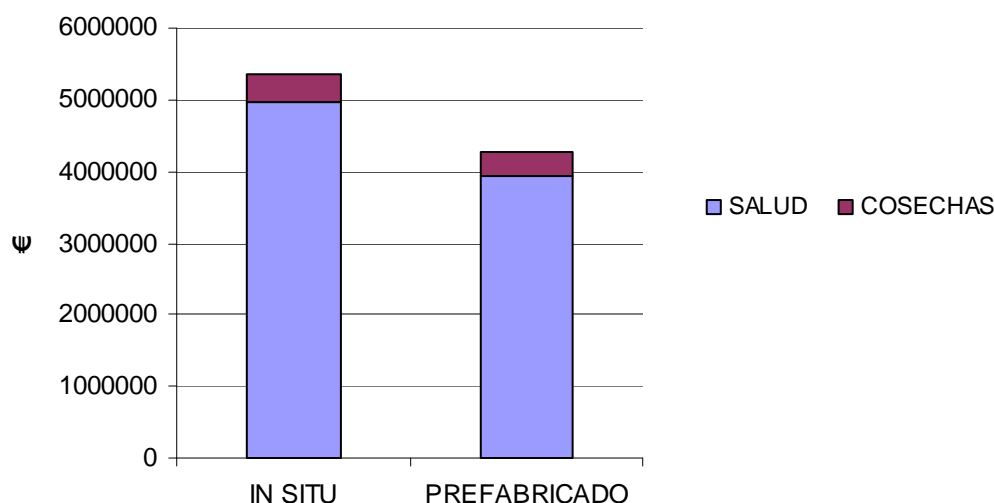


Figura 2. Coste generado por las emisiones precursoras de ozono de una estructura para cada tipo de forjado.

La Tabla 9 muestra el coste de una estructura con cada uno de los dos tipos de forjado estudiados. Los costes provocados a la sociedad por las emisiones precursoras de ozono troposférico son muy pequeños en comparación con el coste de la estructura y muy inferiores a la diferencia en el precio entre estas, por lo que aunque los forjados fabricados

in situ generan un mayor coste a la sociedad, este sobrecoste está muy lejos de alcanzar la diferencia de coste con los forjados prefabricados.

Además de las emisiones causantes de ozono troposférico, los elementos constructivos producen otros impactos que no se han incluido en este estudio, tales como las emisiones causantes del calentamiento global, de la acidificación, etc., por lo que el coste real que se produce a la sociedad debe contemplar estos otros impactos y será mayor que el obtenido en este primer estudio.

Este dato resulta de interés en la implantación de estrategias políticas

	Estructura de forjados in situ	Estructura de forjados prefabricados	Diferencia
Coste (€)	215.997	254.685	38.688

Tabla 9. Coste de los dos tipos de estructura estudiados

## 5. Conclusiones

Se ha estimado el coste de los daños a la salud y a las cosechas provocados por las emisiones causantes de ozono troposférico a lo largo del ciclo de vida de una estructura de un edificio utilizando dos tipologías distintas de forjado.

De igual forma que los forjados in situ provocan un impacto ambiental, obtenido mediante el método CML2 baseline 2000, del 12,2% superior (López-Mesa B, 2009) que los prefabricados, el coste provocado a la sociedad, en términos de daños a la salud y a las cosechas, es un 25% mayor en los forjados fabricados in situ. El mayor coste es el de los daños provocados en la salud. No obstante, el coste a la sociedad es muy pequeño en comparación con el coste total de la estructura, si bien, si se considera el número total de edificios construidos en un año, asciende a más de 1 millón de €.

Este resultado se ha obtenido estimando la variación en la concentración de ozono troposférico a partir de predicciones donde sólo se han analizado dos tipos de contaminantes de todos los que causan este fenómeno, y además se ha supuesto que la variación es proporcional a la que se produce con la reducción utilizada en dicho estudio, por lo que en futuros trabajos sería interesante ajustar más esta estimación.

Por otra parte, habría que considerar otros costes provocados a la sociedad como el de los daños materiales de las emisiones precursoras de ozono y otros costes como el de los daños provocados por el calentamiento global y por las emisiones causantes de la acidificación. Igualmente habría que considerar edificios de diferentes características (nº de plantas, forma, etc).

## Referencias

Amann M., Bertok I., Cofala J., Gyarmas F., Heyes C., Klimont Z., Schöpp W. and Winiwater W., "Clean Air For Europe (CAFE) Programme Final Report", Laxenburg, Austria, 2005.

Assefa G., Glaumann G., Malmqvist T., Kindembe B., Hult M., Myhr U. and Eriksson O., "Environmental assessment of building properties-where natural and social sciences meet: the case of EcoEffect", *Building and Environment*, Vol. 42, 2007, pp.1458-1464.

Bieckel and Friederick, "ExternE. Externalities of energy. Methodology updated. European Commission", 2005.

Dobbelsteen AAJF v.d., Arets M. and Nunes R., "Sustainable design of supporting structures: optimal structural spans and component combinations for effective improvement of environmental performance." *Construction Innovation: Information, Process, Management.*, Vol. 7, 2007, pp.54-71.

EEA, "Air Pollution by Ozone in Europe in Summer 2005. Overview of Exceedances of EC Ozone Threshold Values for April-September 2005." 2006.

EMEP, "<http://www.emep.int/>", 2009.

FAO, "<http://faostat.fao.org/>", 2006.

Goedkoop M S.A., Oele M., "Introduction to LCA with SimaPro." 2006.

Goedkoop M., Schryver A. and Oele M., "Introduction to LCA with SimaPro." 2006.

Holland M., Mills G., Hayes F., Buse A., Emberson L., Cambridge H., Cinderby S., Terry A. and Ashmore M., "Economic Assessment of Crop Yield Losses from Ozone Exposure. Contract EPG 1/3/170", The UNECE International Cooperative Programme on Vegetation, 2002.

INE, [www.ine.es](http://www.ine.es), 2009.

López-Mesa B P.A., Tomás A, Gallego T., "Comparison of environmental impacts of building structures with in situ cast floors and with precast concrete floors, *Building and Environment*, Vol. 44, 2009, pp.699-912.

López-Mesa B., Pitarch A., Tomás A. and Gallego T., "Comparison of environmental impacts of building structures with in situ cast floors and with precast concrete floors, *Building and Environment*, Vol. 44, 2009, pp.699-912.

Mak J., Anink D., Knapen M., Kortman J. and van Ewijk H., "Eco-Quantum, development of LCA based tools for buildings", *Proceedings Second International Conference Buildings and the Environment*, Vol. Paris, France, 1997,

Ready R., Navrud S., Day B., Dubourg R., Machado F., Mourato S., Spanninks F. and Vázquez-Rodríguez M., "Benefit transfer in Europe: how reliable are transfers between countries?" *Environment & Resources Economics*, Vol. 29, 2004, pp.67-82.

Simpson D., Olendrzynski K., Semb A., Storen E. and Unger S., "Photochemical Oxidant Modelling in Europe: Multiannual Modelling and Source-Receiver Relationships (EMEP/MS-CW Report No. 3/97). Norwegian Meteorological Institute, Oslo", 1997.

Steen B., "A systematic approach to environmental strategies in product development (EPS). Version 2000d general system characteristics. CPM report 1999:4", Sweden: Chalmers University of Technology, 1999.

Toll I. and Baldasano J., "Modeling of photochemical air pollution in the Barcelona area with highly disaggregated anthropogenic and biogenic emissions", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, 2000, pp.3069-3084.

UNITE, "UNITE. The pilot accounts for Spain. Version 3.0", 2003.

## **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado con el Proyectos de investigación del Programa Nacional de Construcción del Ministerio de Fomento, proyecto C 54/2006.

## **Correspondencia** (Para más información contacte con):

Elena Mulet  
Área de Proyectos de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción.  
Universitat Jaume I  
Av. SOS Baynat s/n 12007 Castellón  
Phone: +34 964728117  
Fax: +34 964728106  
E-mail : [emulet@emc.uji.es](mailto:emulet@emc.uji.es)  
URL : <http://www.emc.uji.es>