

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA  
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS I



Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona  
*School of Architecture of Barcelona*



**HACIA UN RASCACIELOS ECOEFICIENTE. ESTUDIO SOBRE LA  
SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL DEL EDIFICIO EN ALTURA Y SU  
APLICACIÓN EN BARCELONA Y MADRID.**

TESIS DOCTORAL

AUTOR

**ENRIQUE CARRERAS RUFIN**

ARQUITECTO

DIRECTOR DE LA TESIS

**FERNANDO JUAN RAMOS GALINO**

DOCTOR ARQUITECTO

2012

A Sonsoles y a los pequeños Enrique y María, gracias por existir y por hacerme feliz cada día.

A mis padres, por habérmelo dado todo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Prof. Fernando Juan Ramos Galino, catedrático de construcción de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, por haber creído en mí y haberme guiado y acompañado desde el principio durante todo este largo recorrido arquitectónico y humano.

Al Prof. Jaume Avellaneda, catedrático de construcción de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Vallès, por tus comentarios y sugerencias siempre útiles y constructivas.

Al Prof. Luis Maldonado Ramos, catedrático de construcción y director de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid y al Prof. Francisco Javier Monclús, profesor titular de urbanismo y director de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Zaragoza, por vuestras correcciones, aportaciones y comentarios a esta tesis.

A Fabián López, por tu disponibilidad e interés para resolver las dudas que han ido surgiendo durante la elaboración de la tesis.

A Jorge, por apostar siempre por nosotros y por tu incondicional y siempre gratuita ayuda.

A Fernando y Maria Jesús, por vuestro tiempo, generosidad y entrega en todo lo que ha hecho falta.

A mi familia, amigos y a todas y cada una de las personas que de alguna manera habéis hecho posible la realización de esta tesis.

**INDICE****CAPITULO 1. ¿PUEDE UN RASCACIELOS SER SOSTENIBLE? Pág.**

---

1.1 Introducción.....	3
1.2 Objetivo.....	5
1.3 Marco normativo y estado del arte.....	7
1.4 Metodología.....	9
1.5 Ámbito de estudio.....	9
1.6 Contenido de la tesis.....	10
1.7 Definición de términos.....	11
1.8 Unidades.....	12

**CAPITULO 2. EN BÚSQUEDA DE UN METODO. FUENTES**

---

2.1 Posibles formas de aproximación: Indicadores de sostenibilidad.....	14
2.2 Una propuesta de aproximación: Análisis del ciclo de vida resumido.....	16
2.2.1 Energía y emisiones para la extracción y producción de materiales de construcción del edificio.....	20
2.2.2 Energía y emisiones para el transporte de materiales a la obra.....	21
2.2.3 Energía y emisiones para la construcción del edificio.....	23
2.2.4 Energía y emisiones para el uso y mantenimiento del edificio.....	24
2.2.5 Energía y emisiones para la demolición del edificio.....	37

**CAPITULO 3. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ENERGETICO EN EL CICLO DE VIDA COMPLETO DE 5 TIPOS EDIFICATORIOS**

---

3.1 Propuesta y definición de los 5 tipos edificatorios.....	40
3.2 Estudio de la energía y emisiones de CO <sub>2</sub> necesarias en el ciclo de vida completo de los 5 tipos edificatorios.....	50
3.2.1 Energía y emisiones para la extracción y producción de materiales de construcción del edificio.....	51
3.2.2 Energía y emisiones para el transporte de materiales a la obra.....	54

	Pág.
3.2.3 Energía y emisiones para la construcción del edificio.....	57
3.2.4 Energía y emisiones para el uso y mantenimiento del edificio.....	59
3.2.5 Energía y emisiones para la demolición del edificio.....	63
3.2.6 Síntesis del ACV de los 5 tipos edificatorios. Conclusiones .....	65

#### CAPITULO 4. LA SOSTENIBILIDAD A ESCALA URBANA DEL EDIFICIO EN ALTURA

---

4.1 Prefacio.....	95
4.2 El rascacielos como modelo urbano compacto.....	96
4.2.1 La insostenibilidad medioambiental del modelo de ciudad dispersa.....	96
4.2.2 La sostenibilidad medioambiental del rascacielos como modelo urbano de ciudad compacta.....	106
4.2.3 Resumen comparativo de las repercusiones medioambientales de los modelos de ciudad compacta y de ciudad dispersa.....	119
4.3 El rascacielos como generador de espacios verdes.....	120
4.3.1 Algunos casos de rascacielos generadores de espacios verdes.....	121
4.3.2 Formas de implantación.....	125
4.3.3 Beneficios ambientales de la combinación de edificación en altura y espacios verdes.....	130
4.3.4 Resumen de los beneficios ambientales de la edificación en altura generadora de espacios verdes.....	142

#### CAPITULO 5. HACIA UN RASCACIELOS ECOEFICIENTE. MECANISMOS DE AHORRO ENERGÉTICO EN LA EDIFICACIÓN APLICABLES AL RASCACIELOS

---

5 Mecanismos de ahorro energético aplicables al edificio en altura.....	145
5.1 Sistemas pasivos.....	147
5.1.1 Orientación.....	147
5.1.2 Forma y configuración general.....	150
5.1.3 Configuración de la piel.....	159
5.1.4 Sistemas de control ambiental. Climatización e iluminación natural.....	162

	Pág.
5.2 Sistemas mixtos.....	215
5.2.1 Ventilación asistida mecánicamente.....	215
5.2.2 Ventilación volumétrica o de desplazamiento.....	216
5.2.3 Sistemas de refrigeración solar.....	216
5.2.4 Sistemas activos de refrigeración por evaporación.....	216
5.2.5 Sistemas de captación solar térmica.....	216
5.2.6 Sistemas de energía geotérmica de baja temperatura.....	222
5.2.7 Sistemas de reutilización de agua.....	224
5.3 Sistemas activos.....	226
5.3.1 Sistemas activos de iluminación.....	226
5.3.2 Sistemas activos de climatización.....	228
5.3.3 Sistemas activos de producción de energía por cogeneración.....	230
5.4 Sistemas productivos.....	233
5.4.1 Sistemas de captación fotovoltaicos.....	233
5.4.2 Sistemas de captación de energía eólica por medio de turbinas.....	237

## CAPITULO 6. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ENERGETICO EN EL CICLO DE VIDA COMPLETO DE 6 FACHADAS DEL RASCACIELOS

---

6.1 Introducción.....	242
6.2 Propuesta y definición de 6 fachadas para el rascacielos.....	246
6.3 Estudio de la energía y emisiones de CO <sub>2</sub> necesarias en el ciclo de vida completo de 6 fachadas del rascacielos.....	259
6.3.1 Energía y emisiones para la extracción y producción de materiales de construcción del edificio.....	260
6.3.2 Energía y emisiones para el transporte de materiales a la obra.....	262
6.3.3 Energía y emisiones para la construcción del edificio.....	264
6.3.4 Energía y emisiones para el uso y mantenimiento del edificio.....	266
6.3.5 Energía y emisiones para la demolición del edificio.....	274
6.3.6 Síntesis del ACV de las 6 fachadas. Conclusiones.....	275

CAPITULO 7. VOLVIENDO AL ORIGEN. EL RASCACIELOS: ¿UN MODELO SOSTENIBLE DE EDIFICACIÓN? SINTESIS DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL CICLO DE VIDA COMPLETO DEL RASCACIELOS Y LOS TIPOS EDIFICATORIOS URBANOS MÁS SOSTENIBLES. Pág.

---

7.1 Introducción.....	290
7.2 Síntesis del impacto ambiental en el ciclo de vida completo del rascacielos y los tipos edificatorios urbanos más sostenibles. Conclusiones.....	291

CAPITULO 8. CONCLUSIONES FINALES. FINAL CONCLUSIONS.

---

8.1 Conclusiones finales (ESP).....	309
8.1.1 Síntesis de las conclusiones parciales.....	309
8.1.2 Conclusiones finales en relación con el planteamiento y resultados de esta investigación.....	317
8.1.3 Posibles nuevas vías de investigación a partir de esta tesis.....	318
8.1 Final conclusions (ENG).....	319
8.1.1 Synthesis of the partial conclusions.....	319
8.1.2 Final conclusions regarding the approach and results of this research.....	327
8.1.3 Possible new ways of research from this thesis.....	328

CAPITULO 9. BIBLIOGRAFIA

---

9.1 Bibliografía de referencia.....	330
9.2 Normativa de referencia.....	337
9.3 Bibliografía consultada.....	338
9.4 Bibliografía Web.....	340

---

10.1 Resultados del estudio del impacto ambiental y energético en el ciclo de vida completo de 5 tipos edificatorios.....	343
10.1.1 Energía y emisiones para la extracción y producción de materiales de construcción del edificio.....	343
10.1.2 Energía y emisiones para el transporte de materiales a la obra.....	349
10.1.3 Energía y emisiones para la construcción del edificio.....	355
10.1.4 Energía y emisiones para el uso y mantenimiento del edificio.....	361
10.1.5 Energía y emisiones para la demolición del edificio.....	393
10.2 Resultados del estudio del impacto ambiental y energético en el ciclo de vida completo de 6 fachadas del rascacielos.....	397
10.2.1 Energía y emisiones para la extracción y producción de materiales de construcción del edificio.....	397
10.2.2 Energía y emisiones para el transporte de materiales a la obra.....	400
10.2.3 Energía y emisiones para la construcción del edificio.....	403
10.2.4 Energía y emisiones para el uso y mantenimiento del edificio.....	406

## CAPÍTULO 1. ¿PUEDE UN RASCACIELOS SER SOSTENIBLE?



## **CAPÍTULO 1. ¿PUEDE UN RASCACIELOS SER SOSTENIBLE?**

1.1 INTRODUCCIÓN

1.2 OBJETIVO

1.3 MARCO NORMATIVO Y ESTADO DEL ARTE

1.4 METODOLOGÍA

1.5 ÁMBITO DE ESTUDIO

1.6 CONTENIDO DE LA TESIS

1.7 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

1.8 UNIDADES

## 1.1 **INTRODUCCIÓN:**

*"Aquel que quiera construir torres altas, deberá permanecer largo tiempo en los fundamentos."* Anton Bruckner

Nuestros antepasados desarrollaron una sabia utilización de los materiales contenidos en la tierra que pisaban y en los parajes donde habitaban. Fruto de la contemplación, observación y estupor por la naturaleza fueron desarrollando un conocimiento y un amor profundo de la misma y así construyeron las civilizaciones y culturas que nos han precedido.

Llegaron incluso a desarrollar ciudades con "*rascacielos*", donde éstos señalaban un hito, un lugar señalado, un edificio significativo, un punto de vigilancia para la seguridad de la ciudad, un centro de llamada a la oración...; siempre aportando algo positivo a la ciudad. Sin embargo, hoy en día, pocos rascacielos aportan alguna cualidad a la urbe.

Vivimos unos tiempos en los que por todas partes oímos hablar de sostenibilidad y ecología y sin embargo no hemos visto nunca tanto despilfarro de energía y de tecnología. El turismo se ha convertido en un agente de devastación estética, cultural y ambiental. El progreso industrial se está comiendo los recursos energéticos fósiles del planeta. La especulación inmobiliaria llena de cemento los suelos de algunos países mientras gran parte de la humanidad se amontona en espacios inhabitables.



Fig. 1: El Rascacielos en la Ciudad Medieval. Florencia, Italia. Foto del autor.

En este nuevo milenio más del 50% de la población mundial vive en áreas urbanas. Las expectativas señalan que al menos 24 ciudades del mundo superarán los 10 millones de habitantes. Con semejante intensificación de la vida urbana, el impacto sobre la atmósfera y los ecosistemas se convertirán en el tema crítico con el que tendremos que enfrentarnos los urbanistas y arquitectos buena parte del próximo milenio.

Los arquitectos, los urbanistas, estamos dentro de este proceso y no podemos permanecer al margen. O somos parte del problema o somos parte de la solución.

Las ciudades y sus grandes edificios nos van a exigir una mayor atención respecto a su diseño ecológico, ya que son los lugares donde los problemas de consumo de recursos, relaciones económicas y modos de vida contaminantes del medio ambiente, suponen una amenaza mayor y más insistente para los recursos naturales y los ecosistemas globales.

Partiendo de esta realidad, y teniendo en cuenta todos los factores que intervienen (políticos, económicos, culturales, etc.) la consecuencia evidente de una cada vez mayor compresión de personas en espacios pequeños es construir hacia arriba, la única vía para poder dar cabida a tal cantidad de población en las ciudades.

El tipo de edificio clave para responder a esta demanda es el edificio urbano de alta densidad; es decir: el rascacielos.

La presencia cada vez mayor de los rascacielos en las ciudades es un hecho, un fenómeno de plena actualidad y seguirán construyéndose más mientras la realidad actual del suelo urbano sea la que es, los precios del suelo continúen subiendo y los promotores entiendan que la única manera de recortar el elevado coste del suelo urbano sea aumentando su edificabilidad.

El rascacielos se ha degradado hasta significar, para algunos arquitectos, un simple elemento económico, símbolo de poder y dominio, incapaz de aportar ninguna cualidad a la ciudad. Y sin embargo, los rascacielos ofrecen numerosas ventajas en muchos aspectos:

- Desde el punto de vista urbanístico, es una efectiva alternativa a la estructura urbana descentralizada de ordenación de baja densidad.
- Permite concentrar el volumen liberando el suelo para otros usos. Por ejemplo, parques, espacios públicos, etc.
- Facilita el reciclaje de recursos como el agua.
- Reduce los costes de infraestructura por vivienda, haciéndolas más accesibles econonómicamente.
- Permite una mayor posibilidad de tener contacto con el exterior: luz, vistas, aire.
- Reduce el consumo de energía, suelo y contaminación, uso del automóvil y otros medios de transporte.
- El modelo de ciudad densa y compacta aumenta la eficacia del transporte público.

Tras los atentados del 11 de Septiembre en Nueva York se ha puesto de manifiesto la fragilidad de este tipo de edificios frente a ataques terroristas o incendios. Sin embargo se siguen construyendo rascacielos, lo que demuestra la fuerza del valor icónico que este edificio posee.

La presencia de este tipo edificatorio en las ciudades es una realidad cada vez mayor y en consecuencia merece una acción y estudio inmediatos por nuestra parte para garantizar que sean construidos de la manera más sostenible y ecológica posible. Actualizando la cita inicial de Anton Bruckner, deberemos permanecer y ahondar largo tiempo en los fundamentos para poder construir torres altas medioambientalmente sostenibles.

## 1.2 **OBJETIVO:**

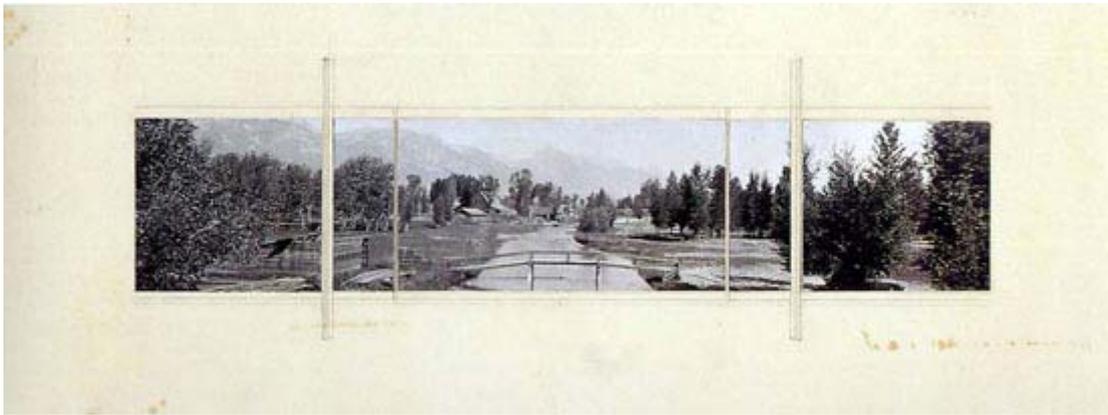


Fig. 2: Casa Resor, Mies Van der Rohe.

*"...reunir la naturaleza, el hombre y la arquitectura en una unidad superior."*

Ludwig Mies van der Rohe <sup>1</sup>

La sostenibilidad ambiental en los proyectos de grandes edificios es como mínimo tan importante como en los proyectos de edificios más pequeños; de hecho es mucho más importante debido a su escala y la enorme cantidad de energía y materiales que comportan.

Es indudable que los rascacielos son grandes devoradores de energía, consumen enormes cantidades de materiales de construcción y vierten grandes cantidades de residuos al medio ambiente. Sin embargo, no creemos que el rascacielos sea un mal modelo. Lo que es erróneo es el uso indiscriminado que de él se hace. Pero utilizado de una forma adecuada, teniendo en cuenta todos los factores que intervienen, analizando el ciclo de vida completo de un edificio, y la gran red de sistemas humanos y ambientales interrelacionados, el rascacielos puede llegar a ser un elemento beneficioso para la ciudad y el territorio.

---

<sup>1</sup> Ludwig Mies van der Rohe. Entretiens avec Mies van der Rohe. *Architecture d'aujourd'hui*, Septiembre 1958, n° 79, p. 100.

El objetivo principal de la tesis es tener una noción global del grado de sostenibilidad medioambiental del edificio en altura que permita verificar esta afirmación. Para ello, se analiza la sostenibilidad del rascacielos de una forma transversal, a distintas escalas, estudiando su repercusión medioambiental a nivel urbano, su impacto medioambiental en comparación con distintas tipologías de edificación o según las diferentes fachadas que lo componen.

Otro de los objetivos de la tesis es demostrar "con números", no solo con palabras, la sostenibilidad de este modelo urbano, así como conocer los diversos mecanismos que lo hacen posible.

La amplitud del ámbito de estudio dificulta una excesiva profundización en los temas tratados. De hecho, cada capítulo podría ser en sí una tesis doctoral. No es el fin de esta tesis desarrollarlos exhaustivamente, sino más bien hacer un recorrido resumido y general por cada uno de los temas tratados a fin de tener una perspectiva más global de la sostenibilidad del rascacielos.

Un objetivo complementario de la tesis consiste en la exploración de las ventajas medioambientales derivadas del rascacielos como modelo urbano compacto frente al modelo cada vez más extendido e insostenible de ciudad dispersa. Se pretende también investigar los beneficios ambientales de la propuesta de combinar rascacielos y espacios verdes en las ciudades. Una propuesta que no busca otra cosa que ese caminar hacia una unidad superior entre la naturaleza, el hombre y la arquitectura de la que habla Mies y que hemos citado al comienzo de este punto.

Los Arquitectos, desde siempre, han tenido una preocupación por el medio ambiente. Siempre la Arquitectura ha tratado de ahorrar energía, de orientarse adecuadamente y de evitar impactos estéticos en el paisaje y recuperar los edificios degradados.

Es también un propósito de esta tesis el remover las conciencias de los que estamos implicados en el proceso arquitectónico para recordar que es tan lícito e importante hacer lo que nos han enseñado nuestros maestros: el juego sabio y magnífico de los volúmenes bajo la luz del sol, como hacer de la carga ambiental un requerimiento ético y estético, moral y económico.

### 1.3 **MARCO NORMATIVO Y ESTADO DEL ARTE:**

No hemos encontrado en las bibliotecas especializadas españolas estudios de carácter científico que analizaran globalmente y en profundidad el comportamiento medioambiental del edificio en altura. Paradójicamente, sí hemos hallado diversos libros y revistas técnicas, mencionados en la bibliografía, que normalmente abordan aspectos parciales o bien analizan casos específicos de estudio y algunas buenas prácticas aplicables al diseño responsable de un edificio en altura, además de múltiples programas informáticos (LIDER, CALENER, ATHENA, BALANÇ ENERGÈTIC, ECOTECT, etc.) enfocados a la evaluación del impacto ambiental a partir de la cuantificación de diversos indicadores.

A nivel normativo la crisis de recursos energéticos ha obligado a establecer compromisos a escala global como el Protocolo de Kyoto y declaraciones y listas de indicadores que lo han completado, que pretenden abordar de manera conjunta un problema que amenaza sin duda el concepto de desarrollo sostenible. (Protocolo de Kyoto, 1998). Mediante el protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, los países firmantes se comprometían a reducir las emisiones de efecto invernadero, a nivel global, un 5%, con respecto al año 1990, para el periodo 2008/2012.

En el contexto europeo se viene trabajando desde las instituciones comunitarias en el desarrollo de legislaciones y normativas para un desarrollo cada vez más sostenible de la edificación. Las tres medidas adoptadas más recientes son las siguientes:

- La Directiva Europea de Eficiencia Energética en los Edificios (2010/31/UE), que obliga a los estados miembros a implementar una serie de acciones para garantizar un mínimo de eficiencia energética en los edificios. Establece, entre otras medidas, que a partir del año 2020 todos los edificios nuevos deberán ser "*edificios de consumo de energía casi nulo*".
- La Decisión 406/2009/ CE sobre el esfuerzo de los Estados Miembros para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Mediante esta Decisión, la Unión Europea se compromete a reducir, para el año 2020, las emisiones totales de gases de efecto invernadero en un 20% como mínimo respecto a los niveles de 1990.
- La Directiva 2009/28/CE relativa al fomento de uso de energía procedente de fuentes renovables. Mediante la misma, la Unión Europea fija como

objetivo una cuota del 20% como mínimo de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía en la CE para 2020.

Sin embargo, conviene no olvidar uno de los acuerdos energéticos iniciales y más importantes a nivel europeo: el tratado y protocolo de la "*Carta Europea para la energía solar en la arquitectura y el urbanismo*"<sup>2</sup>. Este acuerdo fue iniciado en el año 1991 y firmado el 17 de diciembre de 1994, en Lisboa, por las Comunidades Europeas y sus estados miembros. El objetivo del Tratado fue establecer un marco legal para fomentar la cooperación a largo plazo en el campo de la energía, basado en los principios enunciados en la Carta Europea de la Energía.

La Carta Europea de la Energía es un documento europeo muy importante ya que en él se pone de manifiesto la importancia del sector de la edificación y la arquitectura en el contexto de la gestión energética global europea. Dicha carta expone las recomendaciones constructivas y arquitectónicas a tener en cuenta respecto al diseño y al consumo energético en la edificación; podría considerarse un ABC energético para la construcción.

En España, la normativa básica desarrollada en los últimos años con objeto de abordar la eficiencia energética en la edificación, y en cumplimiento del nuevo marco reglamentario que establecía la Directiva Europea de Eficiencia Energética (2002/91/CE), está constituida por la siguiente legislación:

- Código Técnico de la Edificación (CTE, RD 314/2006)- Documentos básicos de ahorro de energía: El CTE contiene exigencias básicas en materia de seguridad, salubridad, protección frente al ruido y ahorro de energía (HE1-HE5).
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE): RD 1027/2007. Establece exigencias de bienestar e higiene, eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso.
- Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética en los edificios de nueva construcción: RD 47/2007.

---

<sup>2</sup> Herzog, Thomas et Al. *Carta europea de la energía solar en la arquitectura y el urbanismo*. Ed. Prestel Verlag, Munich, Berlin, London, New York, 2007.

Actualmente se está elaborando un nuevo Real Decreto para la certificación energética de edificios existentes para su aplicación a partir de enero de 2013. Este obligará a certificar energéticamente los edificios existentes que se vendan o alquilen a partir del año próximo. Esta medida supondrá un primer paso hacia la tan necesaria rehabilitación energética de los edificios existentes y un paso más en el camino hacia la sostenibilidad medioambiental de las ciudades.

#### **1.4 METODOLOGIA:**

Mediante el método de análisis de ciclo de vida cuantificaremos el impacto medioambiental global del rascacielos realizando una contabilidad completa del consumo de recursos y de la emisión de residuos asociados a su ciclo de vida. Comparando los resultados del rascacielos en sus diversas variantes con los de otros tipos edificatorios sabremos el grado de sostenibilidad del mismo.

#### **1.5 ÁMBITO DE ESTUDIO:**

El ámbito de estudio y de aplicación de los conceptos tratados en esta tesis acerca de la sostenibilidad medioambiental del rascacielos se centra en las dos ciudades más pobladas de España: Madrid y Barcelona. Estas dos ciudades, a pesar de no tener prácticamente tradición de edificaciones en altura, en la actualidad han incorporado numeroso ejemplos de rascacielos, lo que sumado a la tendencia cada vez mayor a incorporar este tipo de edificaciones en las ciudades hace que sea interesante estudiar el comportamiento energético-medioambiental y qué sentido tienen en tales emplazamientos (si es que lo tienen). Otra razón para la elección de estas dos ciudades es la proximidad y accesibilidad de datos de las mismas, además de la diferencia importante de clima, (Barcelona: cálido temperado y Madrid: continental) y por consiguiente, la riqueza de respuestas que esto conlleva, lo que nos dará una idea bastante global del comportamiento del rascacielos en casi cualquier contexto.

Debido a que en España, en comparación con otros países, tenemos aún pocos ejemplos de edificación en altura, para poder enriquecer la tesis e incorporar edificios construidos con soluciones técnicas no aplicadas aún en este país, en algunos capítulos el ámbito de estudio se ha ampliado a otros países que disponen de rascacielos.

## 1.6 **CONTENIDO DE LA TESIS:**

En este **primer capítulo** se desarrollan la introducción, objetivos, metodología y contenido de la tesis, así como el ámbito de estudio, estado de la cuestión y las aportaciones de esta tesis a la comunidad científica.

En el **segundo capítulo** se explica el método del análisis de ciclo de vida (ACV) para calcular el impacto ambiental y energético del rascacielos y de otros edificios.

En el **tercer capítulo** se realiza un estudio del impacto ambiental en el ciclo de vida útil de los 5 tipos edificatorios que más nos encontramos en las ciudades, entre los cuales se encuentra el rascacielos. Este estudio permite conocer el grado de sostenibilidad del rascacielos respecto al resto de tipos edificatorios.

En el **cuarto capítulo** se analiza la sostenibilidad del rascacielos a escala urbana. Se estudian las repercusiones medioambientales de un modelo urbano compacto como es el modelo del rascacielos respecto al modelo de ciudad dispersa, que es el prototipo de implantación hacia el que tiende gran parte del urbanismo en la actualidad.

Además se analizan los beneficios medioambientales que aporta a la ciudad el modelo de rascacielos + espacio verde.

En el **quinto capítulo** se desarrollan los diversos mecanismos de los que dispone un edificio en la actualidad para ser más ecoeficiente (pasivos, mixtos, activos y productivos) y se analiza su aplicación al edificio en altura, así como los beneficios ambientales asociados.

El **sexto capítulo** se centra en la parte del rascacielos donde los encuentros y las sollicitaciones son más extremas, donde el edificio se pone a prueba al límite: la fachada.

Se pretende evaluar el impacto ambiental y energético de las diferentes tipologías de fachadas más habituales en la actualidad en España en la edificación en altura durante el ciclo de vida completo del edificio. Poniéndolas en comparación se podrá ver cuáles funcionan mejor desde un punto de vista sostenible. En este capítulo se aplican a las fachadas algunos principios de ahorro energético expuestos en el apartado anterior.

En el **capítulo séptimo** se desarrolla una síntesis de los resultados obtenidos anteriormente en los estudios del impacto ambiental de los rascacielos y los modelos urbanos edificatorios más sostenibles para averiguar el grado de sostenibilidad del edificio en altura. De los resultados alcanzados derivados de tal estudio se podrán extraer algunas conclusiones.

En el **capítulo octavo** se elaboran las conclusiones finales de la tesis a partir de la síntesis de todos los capítulos precedentes.

El **capítulo noveno** recoge toda la bibliografía, tanto la de referencia, como la consultada, normativa de referencia y webs visitadas.

En el **capítulo décimo** se adjuntan los resultados obtenidos de los estudios de impacto ambiental y energético en el ciclo de vida completo de los 5 tipos edificatorios, así como el de las 6 fachadas del rascacielos.

## **1.7 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS:**

### **- RASCACIELOS:**

Respecto a la definición de rascacielos, no existe una medida internacional que determine a partir de qué altura un edificio es un rascacielos, sin embargo sí hay una definición dada por el *Council on Tall Building and Urban Habitat* (CTBUH, Pennsylvania, EE.UU.) que dice que un rascacielos *"es un edificio en el que lo vertical tiene una consideración superlativa sobre cualquier otro de sus parámetros y el contexto en el que se implanta"*. El término rascacielos que se ha adoptado en esta tesis responde a esta definición y a los edificios que comúnmente se consideran como tal: aquellos que disponen de una altura mínima de 100 m. Somos conscientes de la progresiva implantación de la palabra "Torres" para edificios con alturas del orden de los 100 metros, pero esta terminología no ha quedado hasta ahora contrastada.

**- SOSTENIBILIDAD:** Se ha adoptado la definición dada por el informe Brundtland de 1987, según el cual, *"la sostenibilidad consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar las capacidades de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades"*.

**- ECOEFICIENCIA:** De acuerdo con la definición del WBCSD (World Business Council for Sustainable Development), la ecoeficiencia se alcanza mediante la distribución de bienes con precios competitivos y servicios que satisfagan las necesidades humanas y brinden calidad de vida a la vez que reduzcan progresivamente los impactos medioambientales de bienes y la intensidad de recursos a través del ciclo de vida entero a un nivel al menos en línea con la capacidad estimada de llevarla por la Tierra.

**1.8 UNIDADES:**

CONVERSIÓN DE UNIDADES:

1MJ = 0,28 kWh.

1MJ= 238,85 kcal.

ESCALAS DE LA ENERGÍA: <sup>3</sup>

Energía de	Orden de magnitud en Joules
Producción de 1 kg. de aluminio	10 <sup>8</sup>
Producción de 1 kg. de acero	10 <sup>8</sup>
Combustión de 1 kg. de gasolina	10 <sup>8</sup>
Ingestión diaria, actividad normal	8,4 * 10 <sup>8</sup>
Metabolismo basal (1,80m,75Kg), 1 día	6,5 * 10 <sup>8</sup>
Fundir 1 l de agua	10 <sup>5</sup>
Elevar 1 kg. una altura de 10 m	10 <sup>2</sup>
Iluminar bien 1 m <sup>2</sup> , 1 segundo	1
Dolor de oído a 1m, 1 seg.	10 <sup>-2</sup>
Hablar normal a 1m, 1 seg.	10 <sup>-8</sup>
Fisión de un núcleo de Uranio	10 <sup>-11</sup>
Límite de audición a 1m, 1 seg.	10 <sup>-14</sup>
Fotón de luz visible	10 <sup>-19</sup>

---

<sup>3</sup> Datos extraídos del profesor Jaume Roset para la asignatura “Energies renovables a l’arquitectura”, Barcelona, ETSAB, 12 de febrero de 2009.

## **CAPÍTULO 2. EN BUSQUEDA DE UN METODO. FUENTES**

2.1 POSIBLES FORMAS DE APROXIMACIÓN: INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD.

2.2 UNA PROPUESTA DE APROXIMACIÓN: ANALISIS DEL CICLO DE VIDA RESUMIDO.

2.2.1 ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

2.2.2 ENERGÍA Y EMISIONES PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES A LA OBRA.

2.2.3 ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO.

2.2.4 ENERGÍA Y EMISIONES PARA EL USO Y MANTENIMIENTO DEL EDIFICIO.

2.2.5 ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA DEMOLICIÓN DEL EDIFICIO.

## **2.1 POSIBLES FORMAS DE APROXIMACIÓN: INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD.**

Este capítulo pretende desarrollar un método que nos permita cuantificar y analizar el impacto ambiental del rascacielos y otros tipos edificatorios.

Existen muchas herramientas de evaluación ambiental, como el Método de Análisis Medioambiental del Centro de Investigación de la Construcción (BREEAM) del Reino Unido o el Programa de Liderazgo para la Energía y el Diseño Medioambiental (LEED) de Estados Unidos. Estos instrumentos tienden a recoger cada vez más variables para la evaluación ambiental, lo que los convierte en herramientas muy complejas de manejo.

A medida que las cuestiones a tener en cuenta en el análisis se diversifican, en lugar de utilizar estos programas se emplean indicadores para no tener que medir todos los impactos posibles. Los indicadores son una herramienta de evaluación muy útil, porque proporcionan una visión más amplia de los problemas, además de estar basados en principios y valores fácilmente comprensibles. Aportan dos tipos de información:

- Grado de consecución de un objetivo. Se emplea en la fase de proyecto.
- Fluctuaciones del sistema. Se emplea como herramienta de control y seguimiento una vez que el edificio es ocupado.

Un buen indicador de la eficiencia energética para la fase de proyecto es el cálculo de unidades de energía consumidas por metro cuadrado (que suelen expresarse en kW/h/m<sup>2</sup>). Sin embargo, este indicador no valora la fuente de energía, lo que precisaría de un indicador adicional, como el porcentaje de energía que se genera a partir de fuentes renovables.

Los indicadores son métodos de análisis inicial sencillos, que incorporan factores de ponderación que priorizan ciertos aspectos. No todos los proyectos tienen que conceder la misma importancia a las consideraciones energéticas, la introducción de coeficientes multiplicadores permite realizar ajustes en función de las prioridades generadas por la naturaleza del solar, la función del edificio o las necesidades de los habitantes.

\*EJEMPLO DE ANÁLISIS CON INDICADORES:

Es una lista de cuestiones a tener en cuenta para la autoevaluación de la sostenibilidad elaborada por Brian Edwards <sup>1</sup> para sus estudiantes de arquitectura.

**Herramientas de autoevaluación de la sostenibilidad para estudiantes de arquitectura**

Tema	Aspecto	Puntuación	Factor	Subtotal
Energía	Orientación		x 3	
	Abrigo		x 3	
	Superaislamiento		x 3	
	Área acristalada		x 3	
	Ganancia solar pasiva		x 3	
	Refrigeración solar pasiva		x 3	
	Energía renovable		x 3	
	Recuperación de calor		x 3	
	Otros (por especificar)		x 3	
Materiales	Minimización de residuos		x 2	
	Proveniencia local		x 2	
	Reutilización (de edificios)		x 2	
	Reciclaje (de componentes)		x 2	
	Energía incorporada		x 2	
	Mantenimiento		x 2	
	Otros		x 1	
Recursos (suelo)	Área industrial obsoleta		x 2	
	Densidad		x 2	
	Biomasa		x 1	
	Otros		x 1	
Recursos (agua)	Electrodomésticos de bajo consumo		x 1	
	Reciclaje de aguas grises		x 1	
	Recogida de aguas pluviales		x 1	
	Otros		x 1	
Accesibilidad	Discapacitados		x 2	
	Transporte público		x 2	
	Bicicletas		x 2	
	A pie		x 1	
Salud	Materiales naturales		x 2	
	Ventilación natural		x 2	
	Luz natural		x 2	
	Estrés		x 1	
	Contacto con la naturaleza		x 1	
Total				

<sup>1</sup> B. Edwards, *Guía Básica de la Sostenibilidad*, Pág. 95, Editorial Gustavo Gili, 2ª ed, Barcelona, 2008.

## **2.2 UNA PROPUESTA DE APROXIMACIÓN: ANALISIS DEL CICLO DE VIDA**

### **RESUMIDO.**

Además de los indicadores paramétricos mencionados, existen otros métodos de evaluación ambiental, como por ejemplo, el análisis de ciclo de vida (en adelante, ACV <sup>2</sup>). El método de análisis de ciclo de vida permite cuantificar el impacto medioambiental global realizando una contabilidad completa del consumo de recursos y de la emisión de residuos asociados al ciclo de vida total del edificio, diferenciando sus diferentes fases:

1. extracción-fabricación de materiales
2. transporte
3. construcción
4. uso y mantenimiento
5. derribo o deconstrucción.

Con demasiada frecuencia, el coste de los edificios se mide sólo en función del capital inicial, no de los costes de explotación a lo largo de la vida útil del edificio, ni de los costes externos (contaminación, residuos, daños ecológicos). Como herramienta de evaluación, el ACV tiene tres ventajas:

- Introduce la duración en la ecuación, teniendo en cuenta los diferentes impactos y ciclos de reciclaje según un enfoque global.
- Permite analizar el impacto energético, ecológico y medioambiental desde el punto de vista del beneficio social y económico.
- Constituye una herramienta integral que tiende puentes entre el proyecto, la fabricación, la construcción y el mantenimiento.

El ACV se diferencia de otros métodos de auditoria medioambiental en que su evaluación del impacto no se limita al solar donde se ubica el edificio<sup>3</sup>. No sólo se consideran todos los factores ecológicos en el tiempo, sino también en una amplia área geográfica. Un ladrillo, por ejemplo, produce diversos impactos medioambientales durante su vida útil que

---

<sup>2</sup> [SETAC 2003] Shpresa Kotaji, Agnes Schuurmans, Suzy Edwards, *Life-Cycle Assessment in Building and Construction: A State-of-the-Art Report*, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 2003 ISBN 9781880611593.

[Aranda et al. 2006] A. Aranda, I. Zabalza, A. Martínez, A. Valero, S. Scarpellini, *El análisis del ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial*, Fundación Confemetal, Madrid, España, 2006, ISBN 849616974X.

[Fullana, Puig, 1997] P. Fullana y R. Puig, *Análisis de ciclo de vida*, Rubes Editorial, Barcelona, 1997, ISBN 8449700701.

<sup>3</sup> The Architects' Journal, 26 de febrero de 2004, pág 4.

afectan a un extenso territorio: extracción, cocción, transporte, uso, reutilización, etc. El ACV integra todos esos factores en una estructura sencilla fácil de comprender.

Por todo ello, el método elegido en esta tesis para cuantificar y analizar el impacto ambiental del rascacielos y otros tipos edificatorios, es el estudio del impacto ambiental basado en el análisis de ciclo de vida.

En España, los pocos estudios de ACV sobre edificios realizados han simplificado significativamente la metodología empleada y han realizado diversas adaptaciones y aproximaciones respecto de los datos disponibles en las fuentes de información, que en su mayoría proceden de otros países de Europa o del resto del mundo y no pueden extrapolarse directamente a la situación local. Estos ACV habitualmente se realizan en base a unos pocos indicadores de impacto ambiental y profundizan el estudio solo en las fases de extracción y fabricación de materiales y en el uso y mantenimiento del edificio.

Según un estudio realizado por Cuchí et Al. <sup>4</sup>, hasta un 90% de la energía y de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el ciclo de vida a 50 años de un edificio de viviendas de construcción convencional se producen en las fases de fabricación de materiales y uso.

Los impactos de las fases de transporte a obra, construcción del edificio, derribo y tratamiento final de los residuos o bien se estiman de forma global a partir de información estadística, evaluaciones realizadas, etc., o bien no se incluyen en el estudio por considerarse que su participación en el total del ciclo de vida tiene escasa relevancia.

A estos estudios simplificados se los conoce como ACV resumidos <sup>5</sup> y pese a la simplificación que suponen respecto a los estudios completos de ACV, resultan de gran utilidad para la evaluación tendencial del impacto ambiental en la edificación.

Entre otras ventajas que se derivan de su aplicación, hay que destacar la reducción del tiempo en la realización de los estudios, el requerimiento de menos información necesaria para estudiar las fases del ciclo de vida y sus escenarios y un menor coste económico en su realización, ya que las herramientas y fuentes de información que requieren son de bajo coste o de uso público.

Por todo ello, en esta tesis se ha optado por el método del ACV resumido para el cálculo del impacto ambiental del edificio en altura y otros tipos.

---

<sup>4</sup> A. Cuchí, A. Sagrera, G. Wadel, F. López, A. Moreno, J. Vidal, S. Cantos, *Estudio de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en un conjunto de 60 VPO* (doc. Elec., consulta on line, 02/09 [www.saas.cat](http://www.saas.cat)), Sabaté ass. Arquitectura i Sostenibilitat, 2007.

<sup>5</sup> [Rieradevall et al.2005] Joan Rieradevall, *Ecofanal. Ecodisseny d'elements urbans 2005-2006*, Universitat Autònoma de Barcelona/ Generalitat de Catalunya, Barcelona, España, 2005.

Respecto al alcance del análisis del ciclo de vida que vamos a realizar, tratándose de un ACV resumido se analizarán en detalle las fases de extracción-fabricación de materiales, uso y mantenimiento, que es donde tiene lugar la mayor parte del impacto ambiental de los edificios. El resto de fases se estimará de forma global a partir de información estadística y evaluaciones realizadas en estudios.

El objetivo que se persigue no es llegar a resultados de una gran exactitud o a un nivel de gran detalle para un solo edificio, sino obtener unas cifras que nos permitan analizar y comparar el grado de sostenibilidad de la edificación en altura en sus diversas posibilidades y con respecto a otros tipos de edificación.

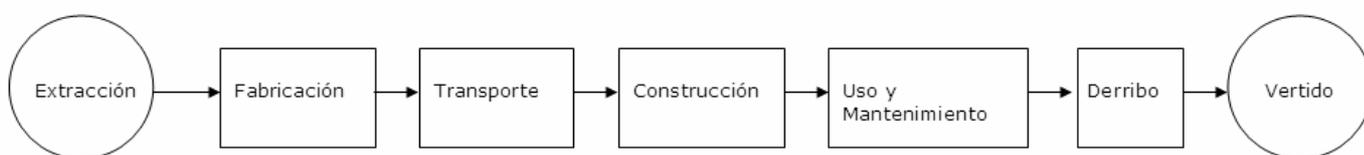


Fig. 1: Esquema de ACV

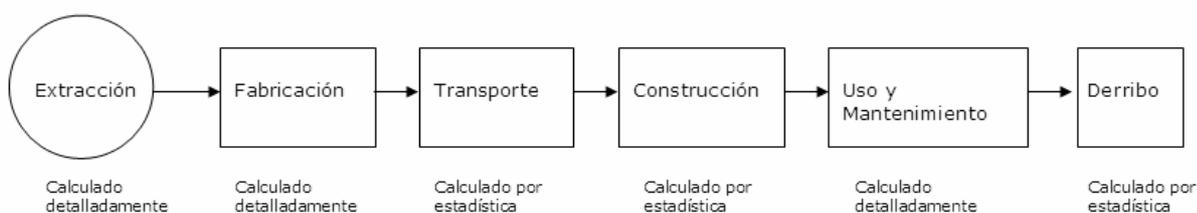


Fig. 2: Esquema de ACV resumido adoptado en esta tesis

Se han consultado diversos trabajos <sup>6</sup> en los que se han detectado ciertos parámetros comunes para evaluar la repercusión ambiental del ciclo de vida de los edificios, como por ejemplo, el consumo de agua, materiales y energía, la generación de residuos

<sup>6</sup> - Cuatro casos emblemáticos en España presentados a la Conferencia Internacional SB'08, en Melbourne (55 viviendas bioclimáticas de protección pública en Bermeo, Vizcaya; Centro de recursos ambientales, Valladolid; 38 viviendas para personas mayores, Palma de Mallorca; Zuñirse: 130 viviendas sociales en Vallecas, Madrid) evaluados con la herramienta sobre sostenibilidad de los edificios, SB Tool-Verde de iiSBE-España. Habitat Futura nº18, febrero de 2009, pp. 20-22.

- A. Cuchí, A. Sagrera, G. Wadel, F. López, A. Moreno, J. Vidal, S. Cantos, *Estudio de reducción de emisiones de CO2 en un conjunto de 60 VPO* (doc. Elec., consulta on line, 02/09 [www.saas.cat](http://www.saas.cat)), Sabaté ass. Arquitectura i Sostenibilitat, 2007.

- Casos emblemáticos presentados por Equipo español del Green Building Challenge a la Conferencia Internacional Sustainable Building 2005, en Tokio (Entre otros: Edificio de viviendas San Cristóbal, Madrid; Edificio de viviendas Pau Claris, Barcelona; Edificio de oficinas Traluz, Madrid; Centro Nacional de Energías Renovables, Sariguren), evaluados con las herramientas de evaluación de la sostenibilidad de los edificios Verde y Gb Tool.

- M. Cepeda e I. Mardaras Larrañaga, *Cuantificación energética de la construcción de edificio y el proceso de urbanización o los proyectos*. Revista Con Arquitectura nº 12 de 2004 pp. 65-80.

sólidos, el agotamiento de recursos no renovables y las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes al medio ambiente.

De entre todos ellos, para la evaluación del ciclo de vida hemos escogido el uso de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> ya que son los dos indicadores más difundidos y aceptados como unidad de medida del impacto ambiental de la edificación.

De hecho, las normativas ambientales relacionadas con la edificación <sup>7</sup> tienen como objetivo la reducción del consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la etapa de uso del edificio. Para ello, estas normativas o bien limitan el consumo de energía o bien establecen una calificación de los edificios en función de su eficiencia energética. En España, para el cumplimiento de la normativa del CTE respecto al límite de consumo de energía y calificación energética, se utilizan los programas informáticos LIDER y CALENER, respectivamente.

Utilizando este método de ACV resumido, obtendremos en cada uno de los estudios los resultados en dos unidades que nos permitirán analizar y comparar las diversas propuestas: energía en MJ y emisiones en Kg. de CO<sub>2</sub>.

La energía es un indicador ambiental importante porque se genera principalmente por el consumo de combustibles fósiles no renovables y es responsable de una gran parte de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, el gas que mayor repercusión tiene entre los gases de efecto invernadero sobre la Tierra.

En los últimos años se ha logrado un consenso social acerca de la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera (como el CO<sub>2</sub>, los óxidos de Azufre SO<sub>x</sub>, óxidos de Nitrógeno NO<sub>x</sub>, etc.) y disminuir el consumo de energía no renovable.

En esta misma línea, la Carta Europea de la Energía Solar en la Arquitectura y el Urbanismo <sup>8</sup> hace especial hincapié en la necesidad urgente de reducir las emisiones y el consumo de energía. Para ello exige a los profesionales e instituciones relacionados con la construcción cambiar radicalmente la forma de pensar y actuar y llama a un acercamiento responsable a la naturaleza y al aprovechamiento del potencial inagotable del sol como fuente de energía como principios básicos a la hora de dar forma en el futuro a nuestro entorno construido.

---

<sup>7</sup> Directiva Europea de eficiencia energética de los edificios, el Código Técnico de la Edificación (CTE), el Real Decreto de Certificación Energética (RD 47/2007) y, en el ámbito autonómico de Cataluña, el Decreto de Ecoeficiencia.

<sup>8</sup> Herzog, Thomas et Al. *Carta europea de la energía solar en la arquitectura y el urbanismo*. Ed. Prestel Verlag, Munich, Berlin, London, New York, 2007.

### **2.2.1 ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO:**

En esta fase se calcula la energía y emisiones para la extracción y producción de materiales para la construcción del edificio. Comprende las operaciones que llevan adelante las industrias extractivas y procesadoras de materias primas así como fabricantes de productos para la construcción.

En la extracción y fabricación está una buena parte de la energía que el edificio consume en su vida útil, llegando a ser hasta un tercio del total en edificios convencionales contemporáneos <sup>6</sup>.

Para el cálculo se ha partido de la base de datos "Metabase Banco Bedec" del ITeC (Institut de Tecnología de la Construcció de Catalunya) y el programa TCQ 2000 para utilizarla. Esta base de datos y programa han sido los escogidos para este estudio debido a que conforman el único sistema disponible a nivel estatal y europeo capaz de aportar, leer y procesar información ambiental de los materiales en los diversos niveles de un presupuesto de construcción, además de ser una base de datos actualizada.

Sobre la información básica ya existente en el banco de datos, se introducirán modificaciones cuando el elemento o solución constructiva a analizar no conste o bien cuando los datos ambientales que allí aparecen no coincidan con los aportados por otras instituciones reconocidas o por las verificaciones que se realicen al respecto.

También serán revisados los coeficientes de conversión que utiliza el programa para pasar del peso de los materiales a la energía (MJ) y emisiones (Kg. de CO<sub>2</sub>) asociados. Para ello se utilizarán distintas referencias como los valores procedentes de fabricantes o bases de datos europeas de reconocido prestigio como Inventory of Carbon & Energy (ICE) de la Universidad de Bath <sup>9</sup>, Building Construction Manual <sup>10</sup>, Green Building Handbook <sup>11</sup>, etc.

---

<sup>9</sup> [Hammond, Jones 2007], J. Hammond, C. Jones, *Inventory of Carbon & Energy(ICE)* (doc. Ele.), University of Bath, Reino Unido, 2007.

<sup>10</sup> [Hegger et al.2006], M. Hegger, V. Auch-Schwelk, M. Fuchs, T. Rosenkranz, *Construction materials manual*, Birkhäuser edition Detail, Munich, Alemania, 2006, ISBN 3764375701.

<sup>11</sup> [Wooley, Kimmins, 2000], Tom Wooley, Sam Kimmins, *Green Building Handbook* (Volúmenes 1 y 2), Spoon press, Londres, Reino Unido, 2000, ISBN 0419253807.

**1451\_01 - PILAR DE HORMIGÓN ARMADO (E)**

TCQ 14511337 m3 Pilar de hormigón armado, con encofrado para revestir, con una cuantía de 13.3 m2/m3, hormigón HA-25/B/10/I, vertido con cubilote y armadura AP500 S de acero en barras corrugadas con una cuantía de 120 kg/m3 429,77 € (J,MA)

Consumo	Peso		Coste energético		Emisión CO2
	Kg	MJ	kwh	Kg	
Componentes constitutivos de materiales					
aceite sintético	0,90	90,44	25,12	13,35	
acero	162,54	5.688,98	1.580,27	458,37	
acero recocido	1,82	77,52	21,53	6,20	
agua	170,63	1,02	0,28	0,049	
árido	2.105,95	315,89	87,75	16,85	
cemento	262,50	991,73	275,48	218,66	
PVC	0,27	18,62	5,17	2,75	
<b>Total</b>	<b>2.704,61</b>	<b>7.184,20</b>	<b>1.995,61</b>	<b>716,23</b>	

Fig. 3: Imagen de la base de datos BEDEC del ITEC. Puede consultarse libremente en [www.itec.cat](http://www.itec.cat)

## **2.2.2 ENERGÍA Y EMISIONES PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES A LA OBRA:**

En esta fase se calcularán la energía y emisiones derivadas del transporte de materiales a la obra para la ejecución de los diversos tipos de edificios que se analizan.

Debido a la dificultad existente para la determinación del origen de los materiales que se emplean en las obras y a la gran dispersión geográfica y funcional de la industria de la construcción, este estudio se basa en información estadística extraída de otros trabajos <sup>12</sup> en los que sí se ha realizado este cálculo pormenorizado.

Aunque los datos en los que se basa esta información estadística se refieren a un tipo de construcción convencional (Cimentación y estructura de hormigón armado, fachadas de dos hojas, con cámara de aire y aislamiento térmico) y por tanto distinto a los tipos constructivos que se estudiarán aquí, la diferencia en la cantidad de MJ/Kg. de material a transportar es muy pequeña y la repercusión sobre el total del ciclo de vida es prácticamente nula.

El factor de conversión que hemos obtenido del estudio mencionado y que nos va a permitir calcular la energía y emisiones de CO<sub>2</sub> es 3,90 litros de gasoil/ Tonelada de peso

<sup>12</sup> Tesis Doctoral de Gerardo Wadel, *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. julio 2009.

transportado, o lo que es lo mismo, 168,360 MJ/ Tonelada. El factor de conversión de MJ a Kg. de CO<sub>2</sub> es 1MJ= 0,0797 Kg. de CO<sub>2</sub>.

Fase 2/6 Transporte de materiales a obra

Material	Forma predominante	Peso transp.	Densidad	Dens. corr. <sup>[4]</sup>	Vol. transp.	Cam./dist.	Consumo <sup>[9]</sup>	
		Tm	Tm/m <sup>3</sup>	Tm/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	u/km	litros gasoil	%
Acero	Perfiles y barras	56,14	7,85	5,50	10,22	763	228,94	2,59%
Acero esmaltado	Puertas	3,83	7,85	0,79	4,88	217	65,13	0,74%
Acero galvanizado	Chapas y perfiles	9,38	7,85	3,93	2,39	436	130,93	1,48%
Acero lam. galvanizado	Chapas y perfiles	18,28	7,85	3,93	4,66	430	129,03	1,46%
Agua	De red	...	...	...	...	...	...	...
Aluminio anodizado	Carpinterías	4,72	2,70	0,81	5,83	88	26,35	0,30%
Aluminio lacado	Chapas y perfiles	0,96	2,70	1,89	0,51	50	14,91	0,17%
Árido <sup>[3]</sup>	A granel	1475,61	1,50	1,20	1229,68	16283	4884,85	55,28%
Cemento <sup>[3]</sup>	Sacos paletizados	206,85	1,60	1,28	161,60	3472	1041,65	11,79%
Cerámica esmaltada	Baldosas paletizadas	8,47	1,80	1,44	5,88	257	77,09	0,87%
Cobre recocido	Cajas de cable y acc.	0,77	8,90	4,45	0,17	31	9,17	0,10%
Ladrillo cerámico	Ladrillos paletizados	188,65	1,80	1,44	131,00	2885	865,57	9,80%
Mortero prefabricado	Casetones paletizados	154,18	2,00	0,60	256,97	1998	599,32	6,78%
Neopreno	Planchas y rollos	1,14	1,20	0,84	1,36	54	16,13	0,18%
Poliestireno extruido	Planchas	1,01	0,03	0,02	41,99	70	20,92	0,24%
Polipropileno	Tubos y accesorios	2,63	0,94	0,19	13,99	255	76,45	0,87%
PVC	Cajas de cable y acc.	2,78	1,35	0,68	4,12	65	19,62	0,22%
Tablero part. madera	Mobiliario	29,00	0,80	0,16	181,26	370	111,01	1,26%
Terrazo	Baldosas paletizadas	72,61	2,50	2,00	36,30	921	276,21	3,13%
Yeso	Sacos paletizados	28,35	1,25	1,00	28,35	809	242,80	2,75%
							<b>8836,06</b>	<b>100%</b>

**Resumen de indicadores**

Igasoil/m<sup>2</sup> 4,36  
 MJ/m<sup>2</sup> 188,22  
 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> 15,01

Tox. amb. ECAKg/m<sup>2</sup> 438,56  
 Tox. hum. HCA+HCWkg/m<sup>2</sup> 0,0941

Fig. 4. Estudio de la energía y emisiones derivadas del transporte de materiales a la obra en una construcción convencional realizada en la Tesis de Gerardo Wadel, *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. Julio 2009, pág. 191.

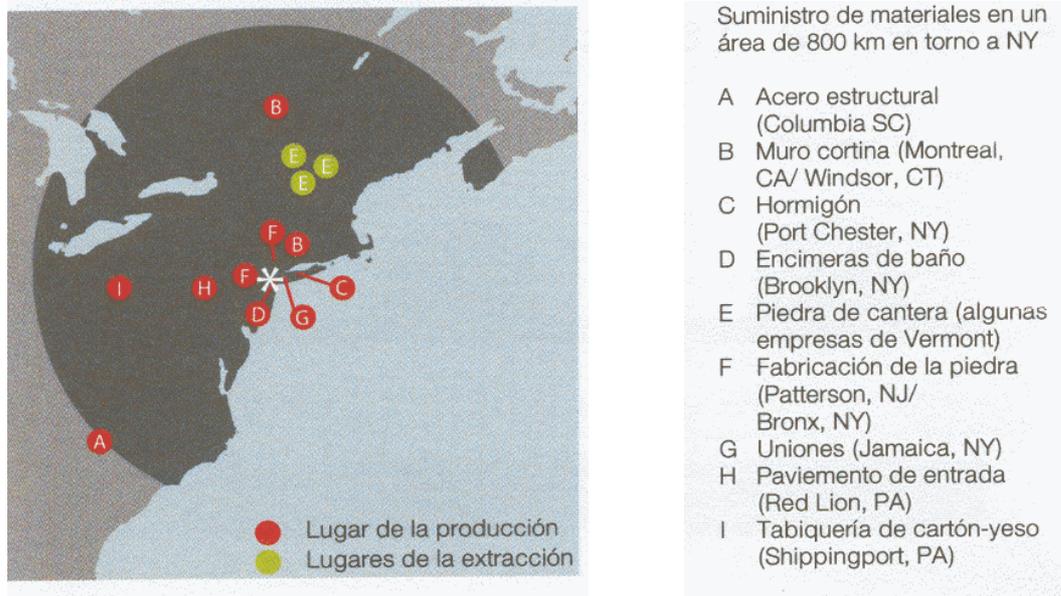


Fig. 5. Producción y suministro de materiales para la construcción de la Torre Banco de América, Nueva York, de Cook & Fox, architects.<sup>13</sup> Uno de los criterios que se siguieron en la construcción del Rascacielos Banco de América fue que todos los materiales que se utilizasen en su proceso constructivo se obtuviesen, siempre que fuese posible, de lugares del entorno (no más de 800 km. de distancia).

<sup>13</sup> Arquitectura sostenible: Torre del Banco de América. *Detail Green*:2009, n° 7, p. 783

**2.2.3 ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO:**

En esta fase se calcula la energía y emisiones derivadas de la puesta en obra de los diversos edificios. Durante la construcción no se producen impactos ambientales de gran magnitud, a excepción de la generación de residuos sólidos; por lo que dada la escasa repercusión en el ACV y la dificultad del cálculo de estos parámetros, nos basaremos en información estadística extraída de otros trabajos <sup>14</sup> en los que sí se ha realizado este cálculo detallado.

Aunque los datos en los que se basa la información estadística se refieren a un tipo de construcción convencional (Cimentación y estructura de hormigón armado, fachadas de dos hojas, con cámara de aire y aislamiento térmico) y por tanto algo distinta a los tipos constructivos que se estudiarán aquí, la diferencia en la cantidad de MJ/Kg. de material construido entre ellos resulta muy pequeña y la repercusión sobre el total del ciclo de vida es prácticamente despreciable.

El factor de conversión obtenido estadísticamente a partir de la tesis doctoral de Gerardo Wadel y que nos va a permitir calcular la energía y emisiones de CO<sub>2</sub> es 314,76 MJ/Tonelada de peso construido. El factor de conversión de MJ a Kg. de CO<sub>2</sub> en esta fase es 1MJ= 0,1197 Kg. de CO<sub>2</sub>.

**Fase 3/6 Construcción: Energía y emisiones**

Subsistemas <sup>[1]</sup>	MJ <sub>gasoil</sub>	MJ <sub>electricidad</sub>	kgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>	kgCO <sub>2</sub> <sub>electricidad</sub>
Replanteo y movimiento de tierras	22.342,69	...	1.781,21	...
Cimentaciones y muros de contención	1.137,06	...	90,65	...
Espacios comunes	617,85	0,60	49,26	0,04
Cubierta	...	1.270,85	...	88,12
Fachada principal	...	36,22	...	2,51
Divisiones y elementos interiores primarios	...	57,74	...	4,00
Acabados interiores	...	93,83	...	6,51
Cerramientos int. y ext. secundarios	...	1.765,89	...	122,44
<b>Otros consumos</b>				
Grúa de 30m de pluma, 40m de altura y 2t de peso en punta. 39.780,00MJ/mes electricidad, 5.799,92 KgCO <sub>2</sub> /mes electricidad. Tiempo de uso: 12 meses. <sup>[2]</sup>	...	477.360,00	...	33.099,00
Montaje/desmontaje grúa 30m de pluma, 40m de altura y 2t de peso en punta <sup>[3]</sup>	9.969,23	...	794,77	...
Transporte de grúa 3m de pluma, 40m de altura y 2t de peso en punta <sup>[4]</sup>	1.290,28	...	102,86	...
Carga y transporte de residuos de construcción a vertedero o centro de recogida y transferencia, 15 km, camión de 7 t, cargado con medios manuales. 833,51MJ/m <sup>3</sup> y 217,71KgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> . Volumen: 236,49m <sup>3</sup> Peso: 254,15tm <sup>[5]</sup>	197116,78	...	51486,24	...
<b>Totales (energía primaria)</b>	<b>232.473,89</b>	<b>480.585,13</b>	<b>54.304,99</b>	<b>33.322,62</b>
	<b>Energía</b>	<b>Emisiones</b>	<b>Tox. amb.</b>	<b>Tox. hum.</b>
	MJ	kgCO <sub>2</sub>	ECAKg/m <sup>2</sup>	HCA+HCWkg/m <sup>2</sup>
<b>Total/m<sup>2</sup></b>	<b>360,78</b>	<b>43,21</b>	<b>985,13</b>	<b>0,6971</b>

<sup>[1]</sup> Se excluyen los subsistemas que no registran energía o emisiones s/PR/PCT y TCQ 2000 del ITeC. Los valores de emisiones de CO<sub>2</sub> han sido corregidos de acuerdo con los coeficientes de paso que emplea el programa CALENER GT elaborados por el IDAE adaptados, en el caso de la electricidad, a valores de energía primaria.

<sup>[2]</sup> Valores extraídos de la partida C150G112 del Banco PR/PCT del ITeC

<sup>[3]</sup> Idem partida C150G212, <sup>[4]</sup> partida C150G312, <sup>[5]</sup> partida E2R64039

Fig. 6. Estudio de la energía y emisiones derivadas de la puesta en obra de una construcción convencional realizada en la Tesis de Gerardo Wadel, *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. julio 2009, pág. 192.

<sup>14</sup> Tesis Doctoral de Gerardo Wadel, *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. julio 2009.

#### **2.2.4 ENERGÍA Y EMISIONES PARA EL USO Y MANTENIMIENTO DEL EDIFICIO:**

En esta fase se calcula la energía y emisiones necesarias para el funcionamiento de las instalaciones que garantizan la habitabilidad y para el mantenimiento y reposición de los materiales del edificio a lo largo de su vida útil.

En este periodo (uso y mantenimiento) del ciclo de vida del edificio normalmente se consume entre un 60 y un 70% del total de energía consumida a lo largo del ciclo de vida, con la consiguiente repercusión en emisiones de gases <sup>15</sup>.

Hemos escogido dos ciudades –Barcelona y Madrid- por su proximidad y accesibilidad de datos, por la diferencia importante de clima de ambas ciudades, (Barcelona: cálido temperado y Madrid: continental) y por consiguiente, por la riqueza de respuestas que esto conlleva, lo que nos dará una idea bastante global del comportamiento del rascacielos en casi cualquier contexto; además de por ser dos ciudades que en estos últimos años han aportado a su *skyline* edificaciones en altura, lo que hace interesante ver qué comportamiento y sentido tienen (si es que lo tienen) en ambos lugares.

Para el cálculo de la demanda energética durante el uso del edificio existen dos tipos de análisis:

-Análisis Mono-zona: Calcula la demanda energética del edificio considerando el mismo como un volumen único que intercambia calor con el medio exterior. Los programas informáticos asociados a este tipo de análisis ofrecen cálculos rápidos y sencillos, como por ejemplo ARCHISUN.

-Análisis Multi-zona: Calcula la demanda energética del edificio diferenciando el volumen del edificio en diversas zonas que intercambian calor entre sí y con el exterior. Supone un balance energético más complejo y cercano a la realidad en el caso de edificios con cierto nivel de compartimentación. Los programas informáticos asociados a este tipo de análisis requieren una entrada de datos muy detallada y rigurosa, lo que hace que se conviertan en herramientas de cierta complejidad para operar. De entre los programas informáticos que hay en el mercado cabe mencionar los programas LIDER, ATHENA, BALANÇ ENERGÉTIC o ECOTECT.

---

<sup>15</sup> [SaAS et al. 2007], A. Cuchí y A. Pagés, *Sobre una estrategia para dirigir al sector de la edificación hacia la eficiencia en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI)*, Ministerio de la Vivienda, octubre de 2007. Consulta online, 02/2010, [www.mviv.es](http://www.mviv.es)

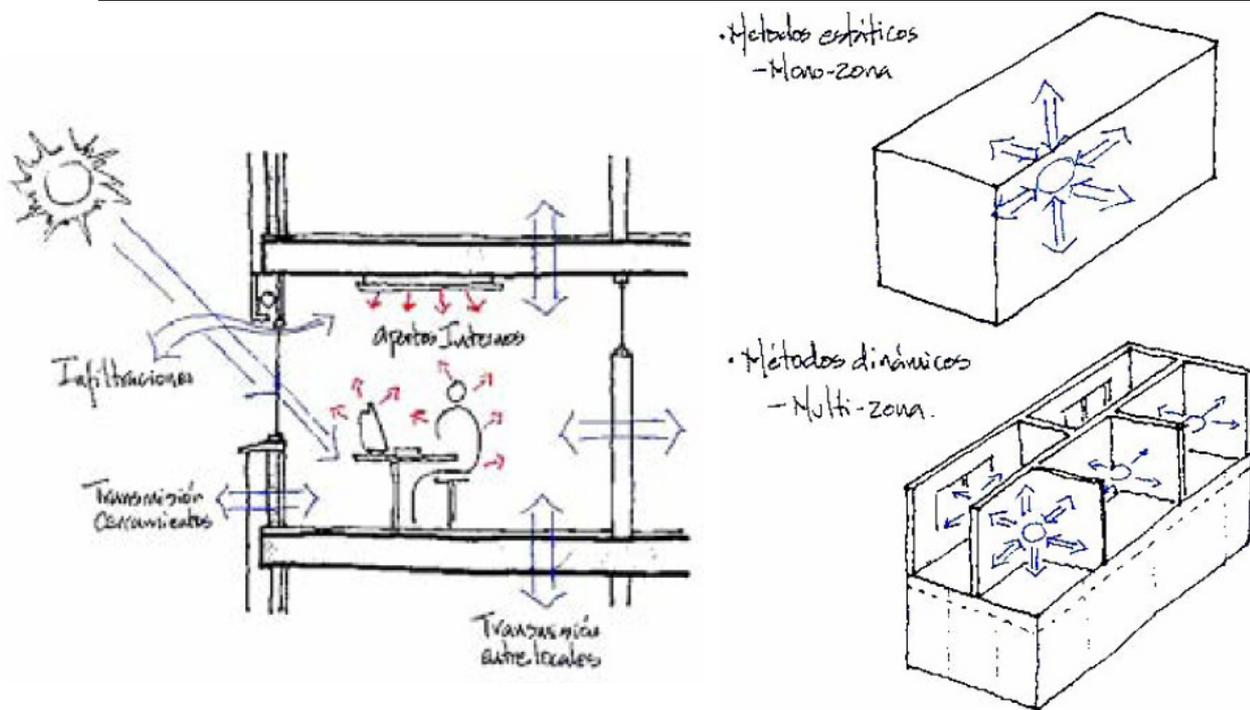


Fig. 7 y 8. Dibujos de los dos métodos de cálculo de demanda energética: estáticos y dinámicos. Dibujos extraídos de la tesis doctoral de Gerardo Wadel, *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. julio 2009.

Para el cálculo de la demanda energética durante el uso de los diversos edificios hemos elegido el análisis mono-zona. La razón de esta elección radica en el tipo de estudio que vamos a realizar, centrado exclusivamente en la geometría envolvente de los edificios que se comparan, considerando el interior de cada planta como un único espacio diáfano. Para este tipo de estudios, el análisis más adecuado es el mono-zona, ya que agiliza y facilita enormemente los cálculos a realizar frente a los análisis multi-zona.

De entre los programas que existen, ARCHISUN ofrece diversas características que han hecho que nos inclinemos a favor de su uso: la gratuidad, rapidez, manejabilidad y facilidad de uso internacional. Aunque en la tesis se haya optado por comparar Madrid y Barcelona, el programa permite fácilmente cambiar la ciudad en la que se sitúa el edificio por cualquier otra de Europa y obtener los resultados inmediatamente, cosa que no ocurre en el caso del programa LIDER, programa de referencia para el cumplimiento de la demanda energética del CTE en España, referenciado únicamente a las ciudades de España, que, por otra parte, sólo está enfocado a la dialéctica cumplimiento/incumplimiento del Código Técnico de la Edificación.

ARCHISUN permite el cálculo de todas las fachadas y edificios propuestos excepto uno: la fachada de doble piel de vidrio con cámara. Ni ARCHISUN ni LIDER o el resto de programas mencionados anteriormente están preparados para el cálculo de una fachada de la complejidad de este tipo. Para hacer un cálculo riguroso se debería ir a programas de difícil manejo como son ENERGY PLUS o TRNSYS.

Uno de los propósitos de esta tesis es encontrar un método sencillo y rápido que permita este tipo de cálculos, por lo que debemos descartar estos programas.

Para el cálculo de esta fachada hemos utilizado una herramienta que ofrece la empresa austriaca BEST FACADE <sup>16</sup>, rápida y sencilla de manejo, a disposición de cualquier usuario que permite el cálculo y la comparación de la energía y emisiones de CO2 asociadas al uso del edificio entre una fachada convencional de una hoja y otra de muro cortina de doble piel de vidrio con cámara.

\*PROGRAMA ARCHISUN:

Este software ha sido desarrollado por el Grupo de Arquitectura y Energía de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), en el marco del programa THERMIE de la Comisión Europea. En el proyecto han colaborado también el Instituto Catalán de la Energía, el Politécnico de Milano, de Italia, la Universidad de Hannover, de Alemania y la empresa Tombazis and Ass., de Grecia.

La entrada de datos en el programa ARCHISUN está dividida en dos partes:

1. Datos Básicos: Volumen del edificio, número de ocupantes, uso del edificio (vivienda, oficina, ocasional). Se ha escogido como uso del edificio el residencial, dado que el mayor problema que nos encontramos en la actualidad en las ciudades tiene relación con la vivienda. Respecto al número de ocupantes, si bien el decreto de mínimos de habitabilidad de Cataluña fija una superficie mínima de 10m<sup>2</sup>/ persona, parece insuficiente, por lo que se ha determinado según la media habitual <sup>17</sup> en vivienda que es de 3 personas/vivienda.
2. Datos Específicos: Se compone de 5 pestañas: ubicación, entorno, forma, piel e interior del edificio.

---

<sup>16</sup> [www.bestfacade.com](http://www.bestfacade.com)

<sup>17</sup> Estadística extraída del boletín informativo del Instituto Nacional de Estadística, Junio 2004. [www.ine.es](http://www.ine.es)

2.1 Ubicación: En la pestaña de ubicación se pueden introducir los datos sobre la localización (latitud, longitud, distancia al mar, altura y densidad urbana) y los datos climáticos del emplazamiento del edificio (radiación, temperatura, oscilación, dirección del viento, etc.). El programa dispone de una base de datos de las ciudades más importantes de Europa. Sin embargo, todos estos datos pueden ser modificados si se dispone de datos específicos.

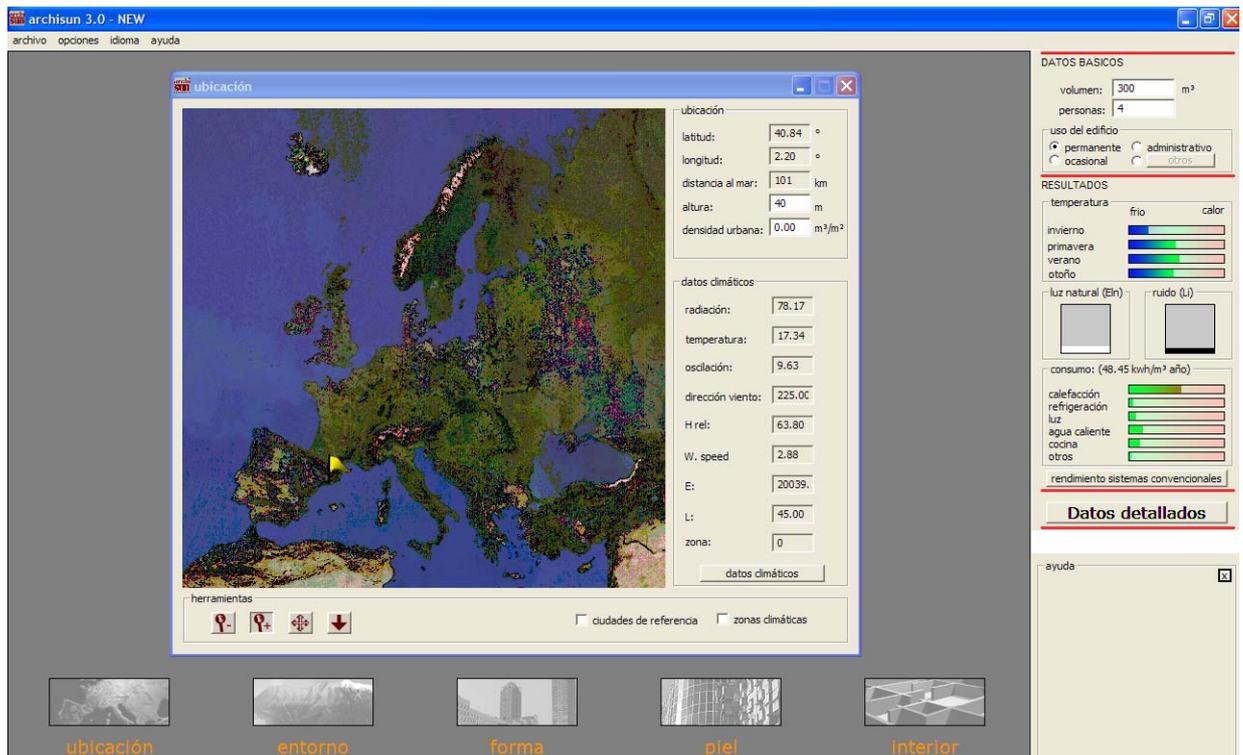


Fig. 9: Imagen del programa Archisun. Introducción de datos de ubicación.

2.2 Entorno: En la definición del entorno, es posible indicar gráficamente los elementos que rodean el edificio, como la vegetación, barreras sólidas o agua. Con esta información, el programa corrige los datos climáticos del área de localización. En este apartado también se incluyen, dependiendo de las estaciones, las oscilaciones de temperaturas, la radiación del sol que incide en el edificio, la humedad relativa, la intensidad del viento y los niveles de ruido del lugar donde está el edificio.

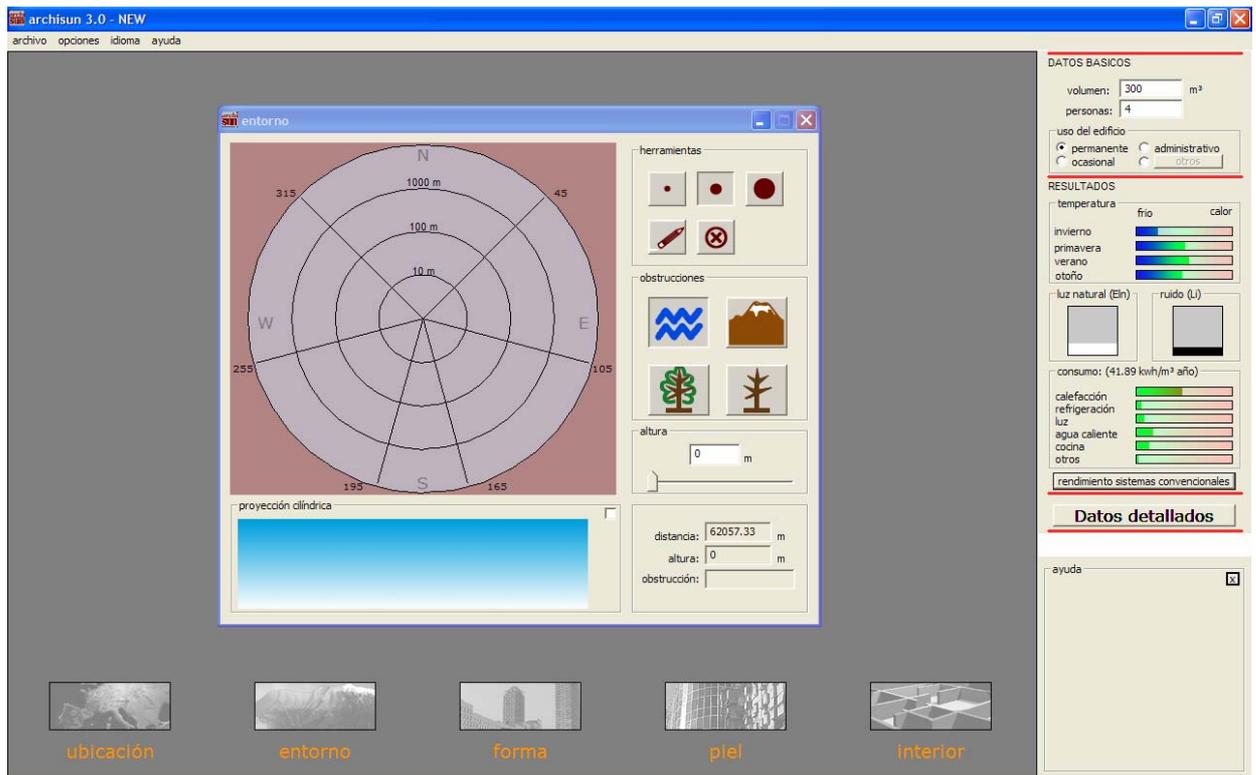


Fig. 10: Imagen del programa Archisun. Introducción de datos de entorno.

2.3 Forma: La definición de la forma permite establecer la orientación, esbeltez, compacidad, porosidad y las proporciones del edificio.

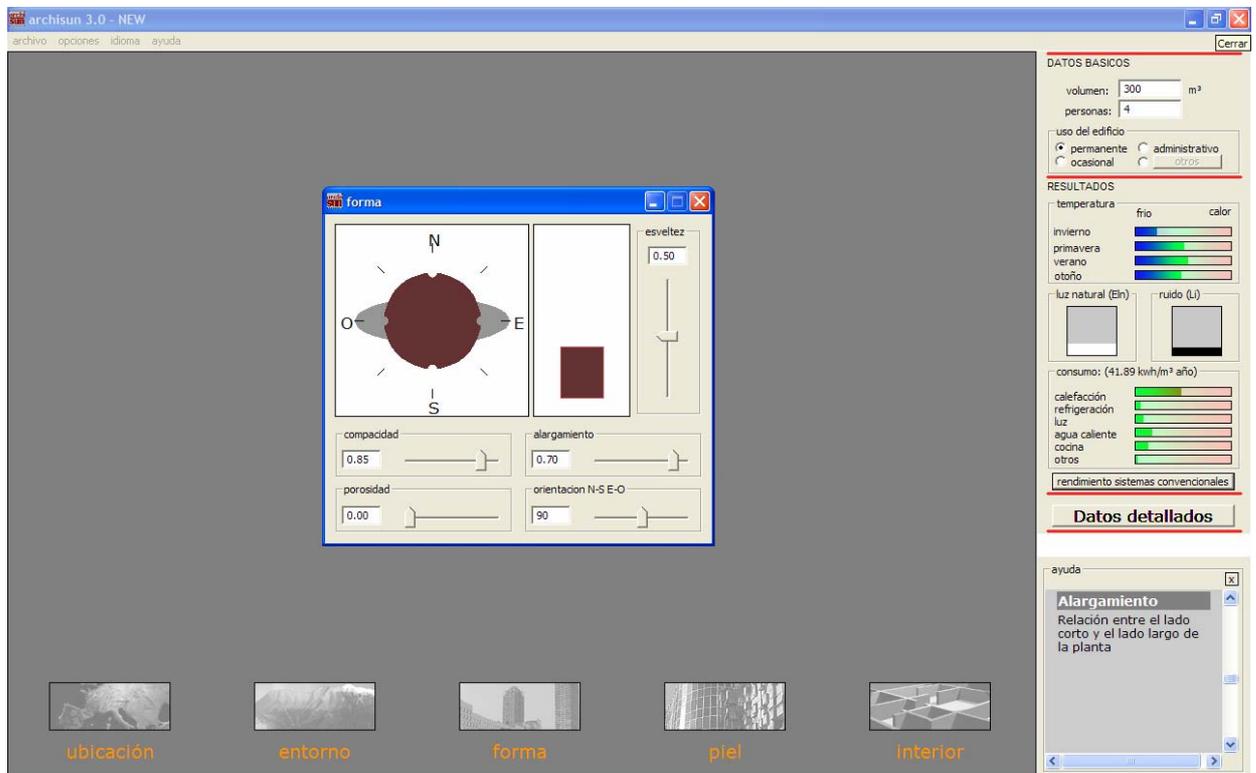


Fig. 11: Imagen del programa Archisun. Introducción de datos de forma del edificio.

**2.4 Piel:** La descripción de la piel permite definir las partes del edificio que tienen relación con el medio ambiente exterior. Los datos a introducir son la superficie, coeficiente de transmisión térmica “K”, peso, posición del aislamiento, de cada una de las fachadas, de la cubierta y de la huella del edificio sobre el suelo. También se tiene en cuenta el grado de transparencia, reflectancia y practicabilidad de las aberturas, o si dispone de sistemas activos térmicos o fotovoltaicos. Gracias a esta pestaña se pueden calcular los coeficientes de pérdida de calor, la absorción de las radiaciones solares y la infiltración de aire, entre otros parámetros.

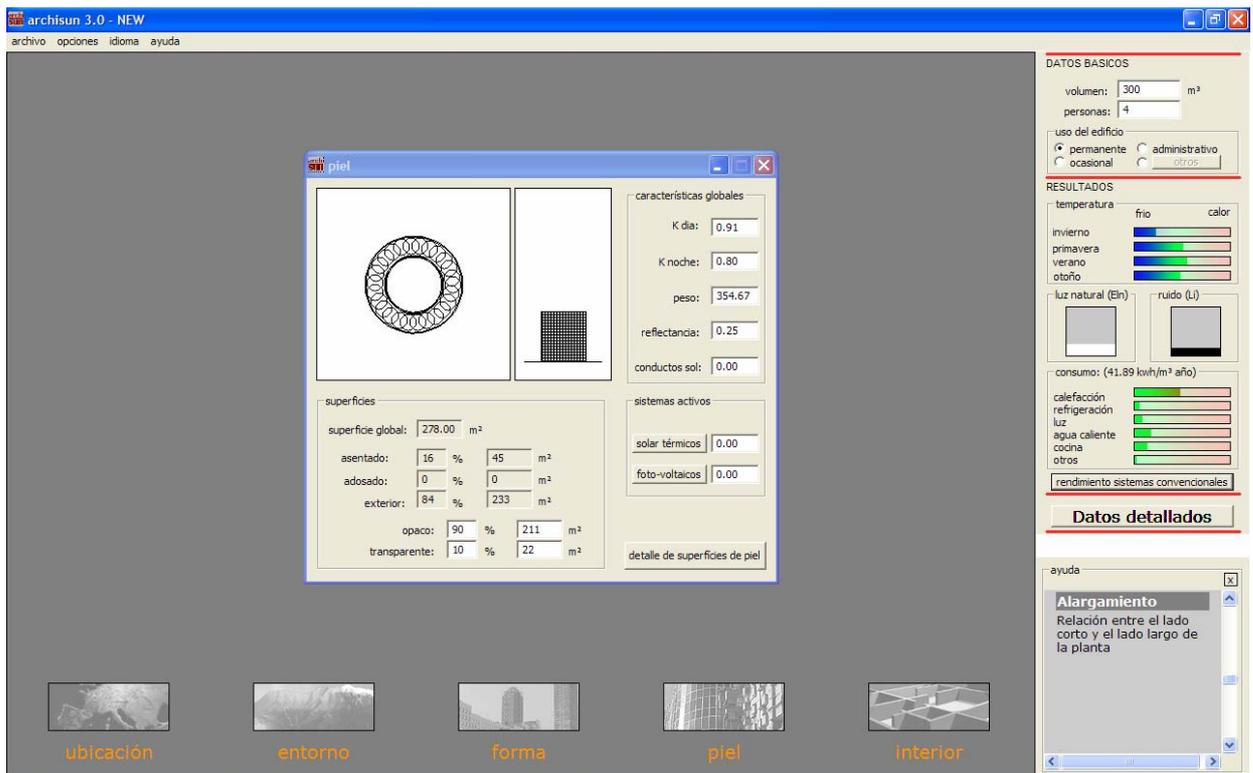


Fig. 12: Imagen del programa Archibus. Introducción de datos de la piel del edificio.

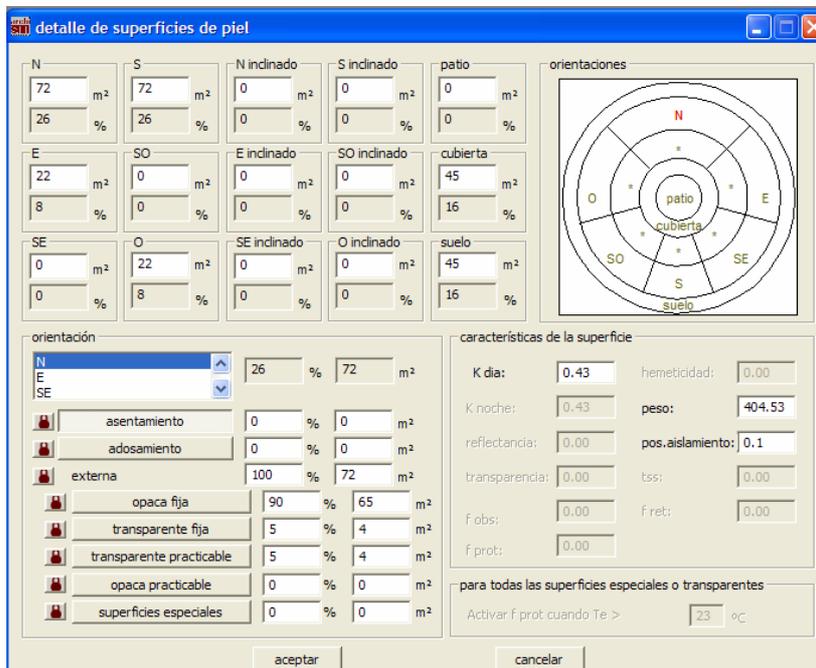


Fig. 13: Imagen del programa Archibus. Pestaña donde se define la piel del edificio.

2.5 Interior: En la pestaña del interior del edificio se definen las principales características internas del edificio, que determinan en parte su respuesta térmica dinámica y las corrientes de aire que se producen de unas partes a otras.

El cálculo de las cargas internas se hace según las ecuaciones de transferencia y conservación del calor, en un modelo de referencia que tiene en cuenta las ganancias solares al interior del edificio, las ganancias solares en los cerramientos opacos, la generación o la disipación interiores y las transferencias del interior directamente al exterior (por ventilación o por transferencia a través de las superficies vidriadas) así como la acumulación de energía solar directa en el interior que se pueden generar.

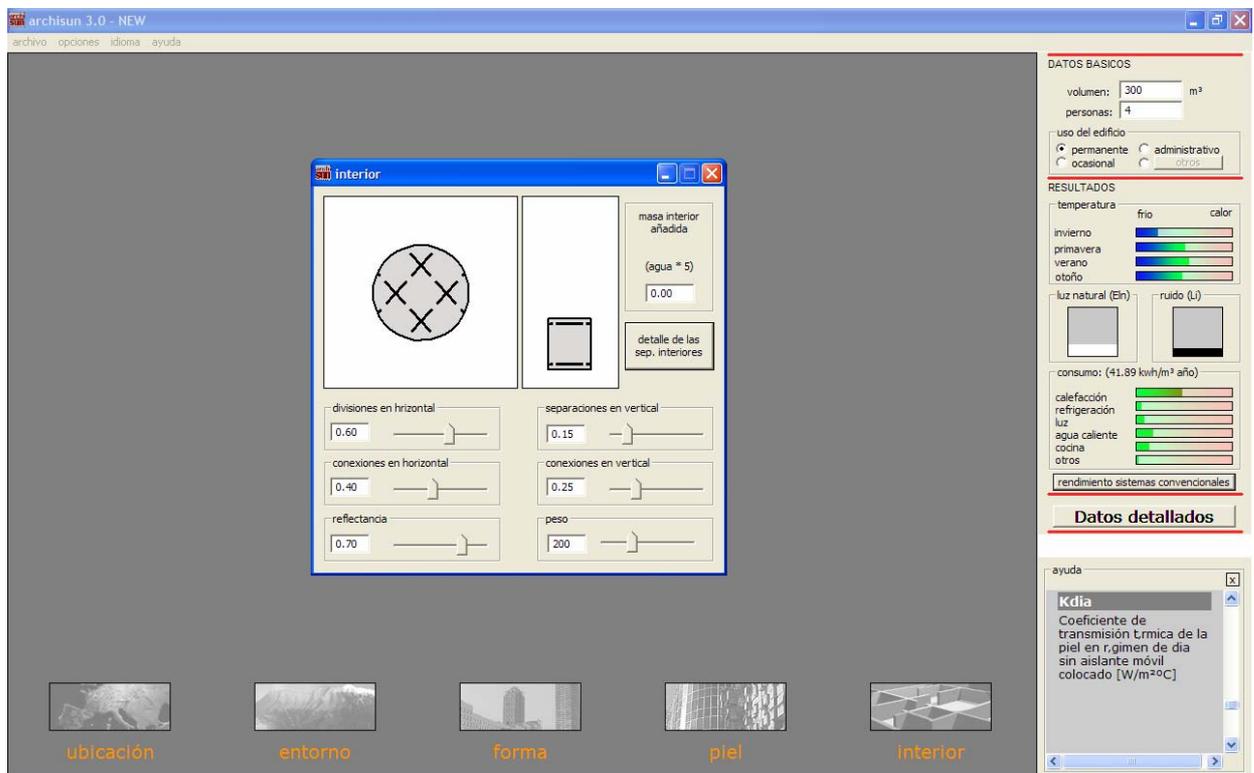


Fig. 14: Imagen del programa Archisun. Pestaña donde se define el interior del edificio.

Los cálculos térmicos se llevan a cabo en el espacio de frecuencia (Fourier). Una vez que se conocen los datos externos, las características del edificio y las características funcionales, aplicando la transformada inversa de Fourier se obtienen la temperatura interior y el balance energético.

Los algoritmos se utilizan para introducir los parámetros que intervienen en las ecuaciones básicas, que permiten el cálculo de su valor en cada caso en base a los datos climáticos y arquitectónicos escogidos por el usuario.

Los resultados de demanda energética del edificio en ARCHISUN se expresan en Kwh/m<sup>3</sup> año y vienen descompuestos en una gráfica de barras donde se ve la parte proporcional de gastos derivados de calefacción, refrigeración, luz, agua caliente, cocina y otros.

El programa permite simular el consumo energético introduciendo como dato el rendimiento de los equipos (calefacción, refrigeración, luz, agua caliente sanitaria, etc.,) que atenderán la demanda. Para los edificios estudiados, el valor de rendimiento de todos los sistemas ha sido 1.0.

El programa también da resultados gráfica y numéricamente de la temperatura interior para cada estación del año y los valores más significativos de aislamiento, aportes internos, etc.

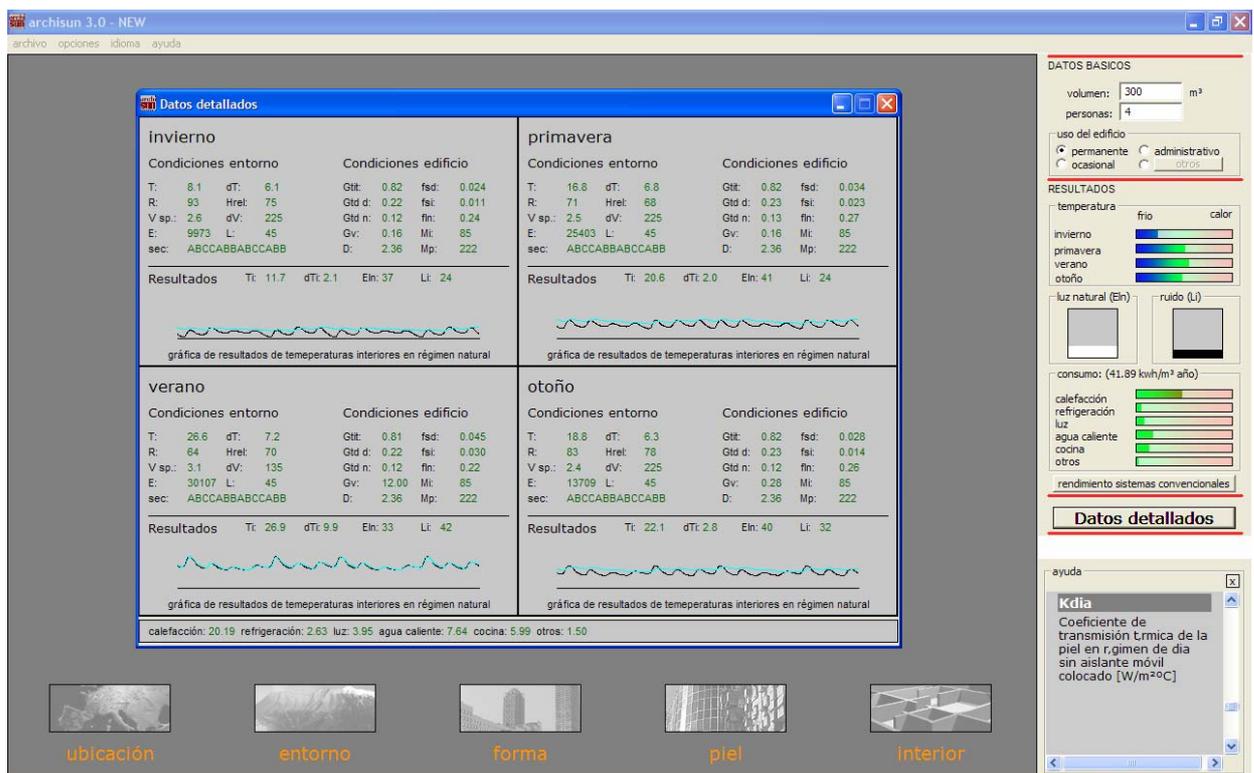


Fig. 15: Imagen del programa Archisun. Pestaña donde se ven los resultados detallados.

\*PROGRAMA BEST FACADE:

La entrada de datos en la herramienta BEST FACADE está dividida en 7 partes:

1. Emplazamiento, clima y uso del espacio: En la primera parte se selecciona al emplazamiento, clima y uso del espacio. Permite únicamente la selección de países de Europa. Se puede elegir entre uso estándar o intensivo.

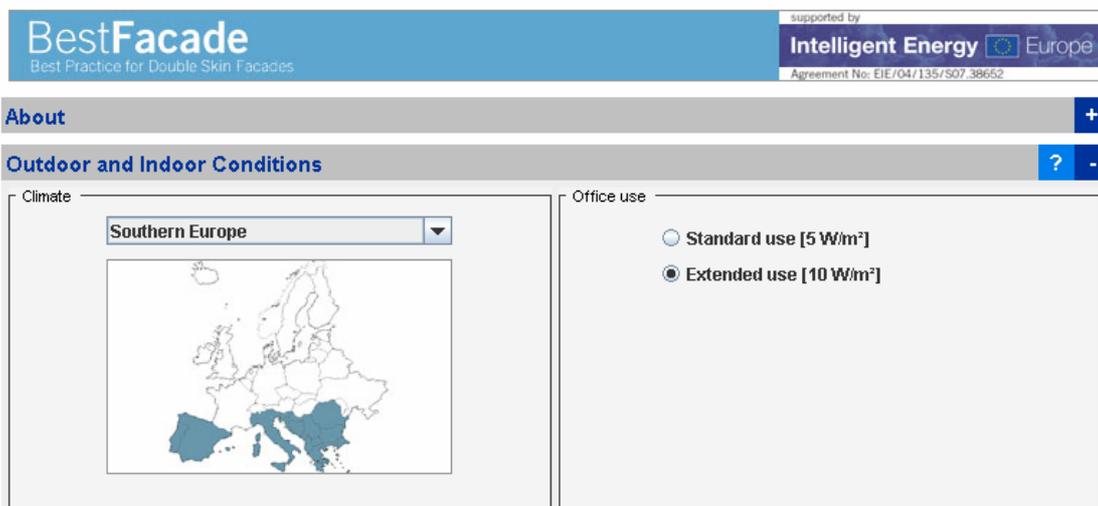
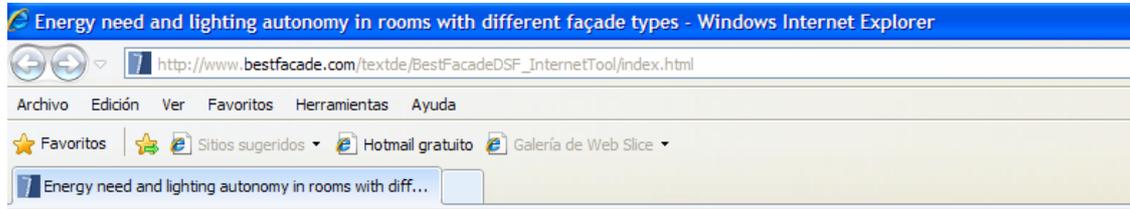
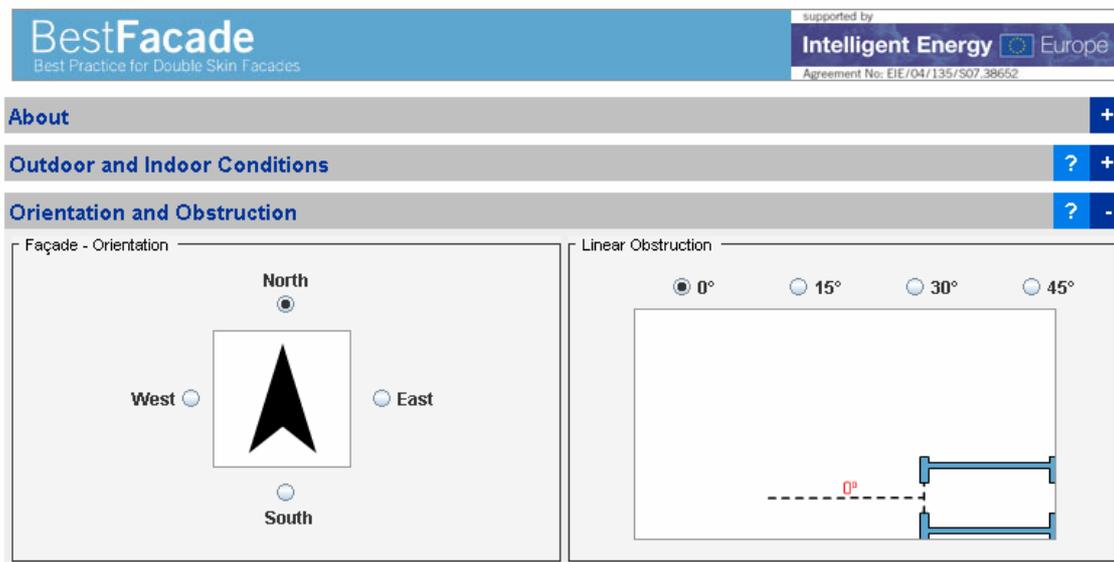


Fig. 16: Imagen de la herramienta BEST FACADE. Pestaña donde se selecciona el tipo de clima y el uso del espacio.

2. Orientación y obstrucciones a la fachada: A continuación se debe seleccionar la orientación de la fachada (Norte, Sur, Este, Oeste) y las obstrucciones a la misma.

Fig. 17: Imagen de la herramienta BEST FACADE. Orientación y obstrucciones a la fachada.



3. Tipo de fachada: El tercer paso consiste en escoger el tipo de fachada. Nos da a elegir entre una fachada de una hoja de vidrio o de doble vidrio con cámara con ventilación natural o mecánica. Asimismo, se selecciona el tipo de vidrio de las dos hojas, el porcentaje de hueco respecto al macizo de la fachada y el tipo de protección solar.

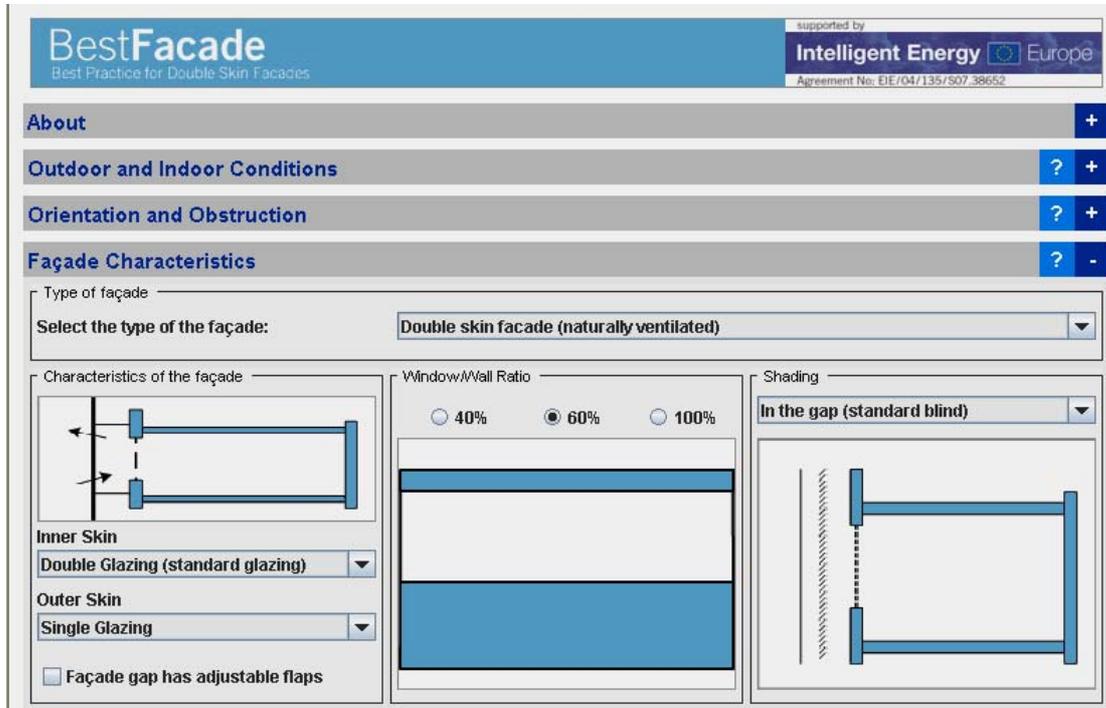


Fig. 18: Imagen de la herramienta BEST FACADE. Características de la fachada.

4. Sistema de iluminación artificial: A continuación se selecciona el sistema de iluminación artificial: luz directa, indirecta; luces de mesa; de control manual o automático.

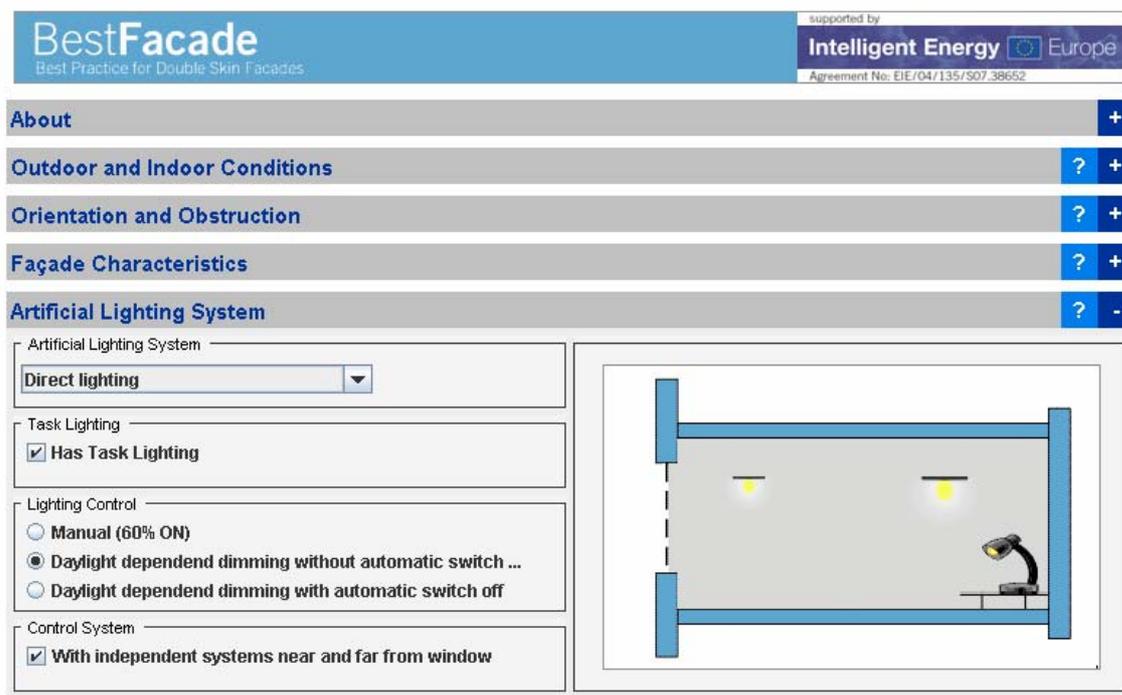


Fig. 19: Imagen de la herramienta BEST FACADE. Tipo de iluminación.

5. Tipo de calefacción, refrigeración y ventilación: En la quinta pestaña se selecciona el tipo de calefacción, refrigeración y ventilación.

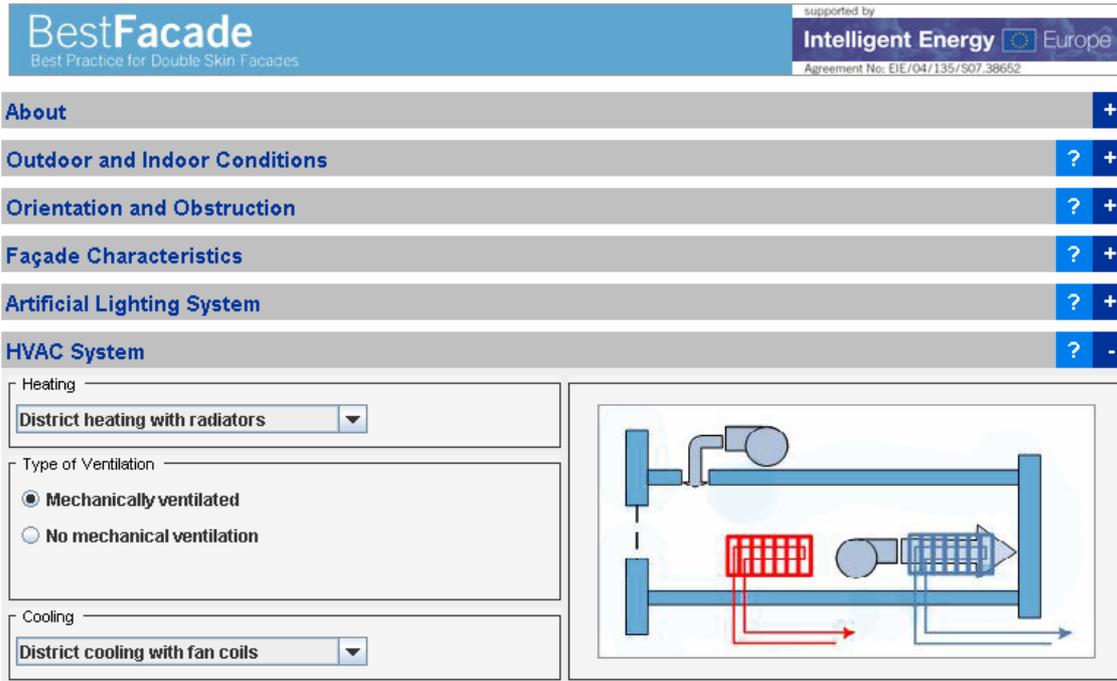


Fig. 20: Imagen de la herramienta BEST FACADE. Tipos de calefacción, refrigeración y ventilación.

6. Factores de energía primaria y de conversión a CO<sub>2</sub>: El sexto paso consiste en seleccionar los factores de energía primaria eléctrica, de calefacción y refrigeración y los factores de conversión de esta energía a CO<sub>2</sub>. Nos da a elegir entre los que se emplean en Alemania o los que queremos definir.

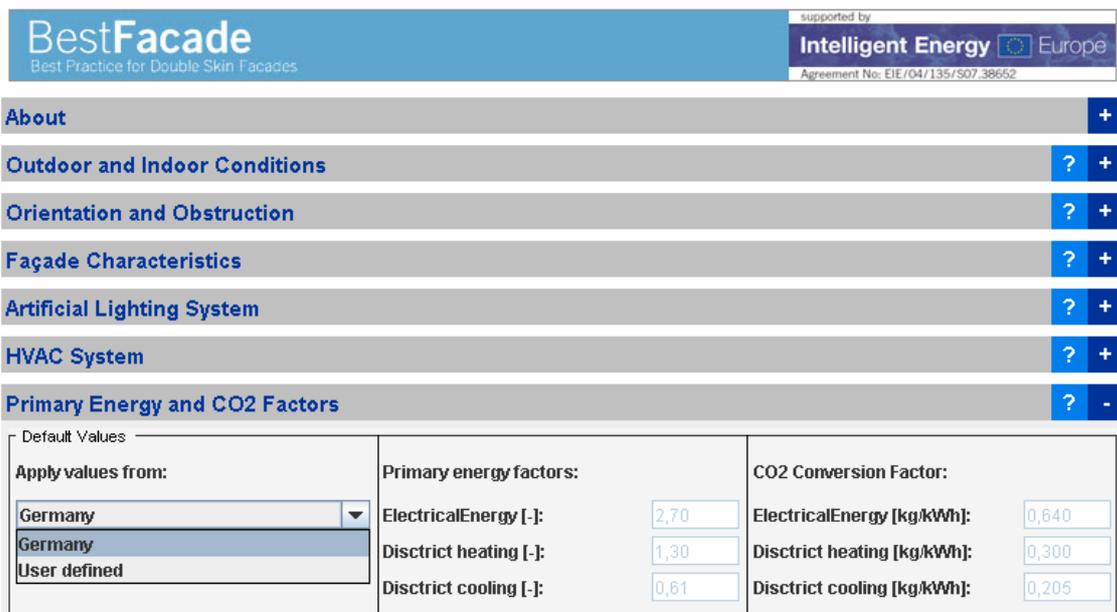


Fig. 21: Imagen de la herramienta BEST FACADE. Tipos de factores de energía y conversión a CO<sub>2</sub>.

7. Resultados: Por último, nos da los resultados de la demanda de energía y emisiones de CO2 asociadas a la calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación y aparatos eléctricos, además del total de la suma de ellas. Además nos da el porcentaje de la autonomía de luz natural del espacio estudiado.

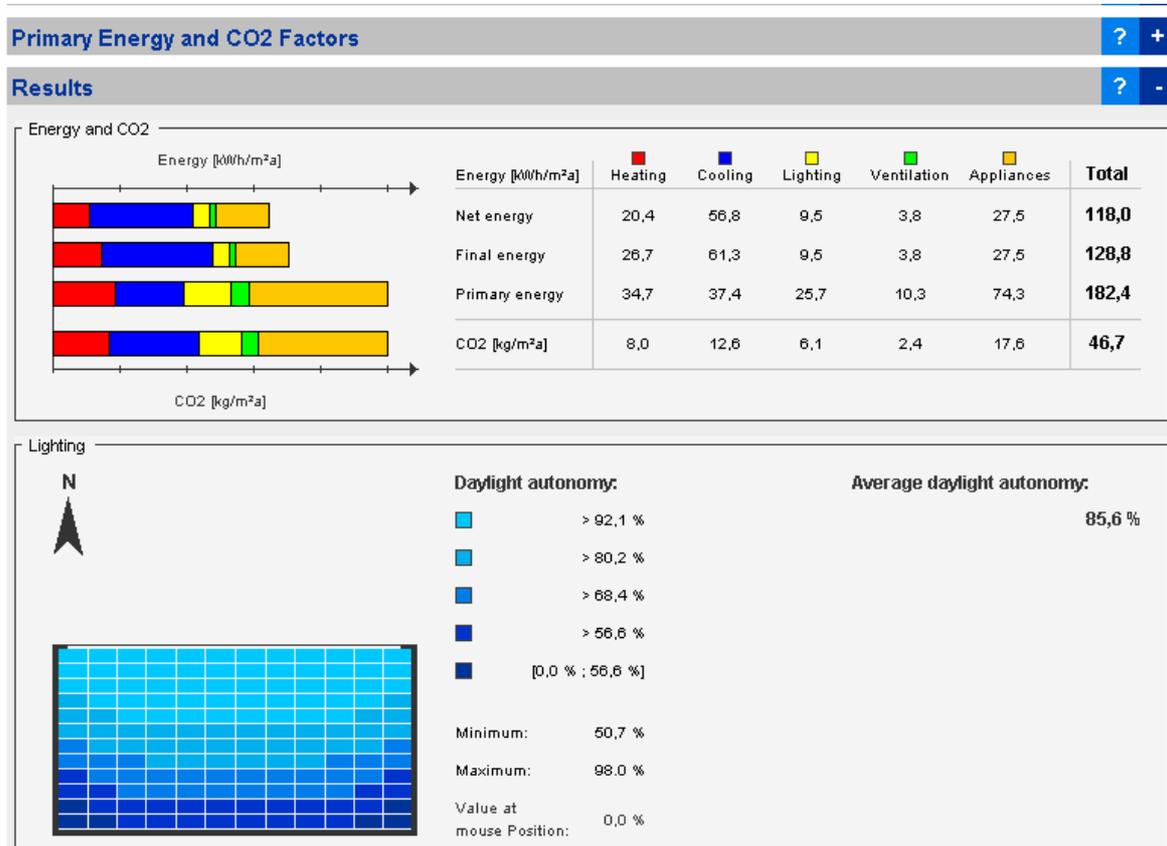


Fig. 22: Imagen de la herramienta BEST FACADE. Resultados.

Es importante señalar que esta herramienta utiliza para el cálculo de la demanda energética factores distintos de los que hemos visto en ARCHISUN, por lo que los resultados no se pueden comparar directamente a los obtenidos con ARCHISUN.

Para poder analizarlos, lo que se ha hecho es calcular con BESTFACADE la demanda energética y emisiones de CO2 del muro cortina de vidrio y de la doble piel de vidrio con cámara. A continuación se ha calculado el porcentaje de diferencia de uno respecto al otro en energía y emisiones de CO2. Finalmente se ha tomado como referencia los resultados obtenidos con ARCHISUN del muro cortina y se ha aplicado este porcentaje a la doble piel de vidrio con cámara.

En todos los estudios se parte de la hipótesis de calefacción de caldera de gas centralizada y Agua Caliente Sanitaria con un rendimiento medio del 95% y refrigeración de bomba de calor individual con un rendimiento del 190%, según la Memoria de Cálculo de la Opción Simplificada para la Calificación Energética de Edificios de Viviendas.

Los coeficientes de conversión utilizados en todos los estudios para transformar la energía final utilizada a emisiones de CO<sub>2</sub> que representan las emisiones generadas en la combustión del gas y en la producción de electricidad según el mix energético español, se han tomado del Plan de Energías Renovables de España 2005-2010 y del Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España <sup>18</sup>. Por consiguiente, se han tomado como valores de referencia para el gas (calefacción y ACS) 0,204 Kg CO<sub>2</sub>/kWh y para la electricidad (resto de usos) 0,649 Kg CO<sub>2</sub>/kWh.

Normalmente en los ACV se consideran 50 años como el período de vida útil de un edificio. Sin embargo, creemos que esto es poco, y que debería durar por lo menos 100 años, que es la duración máxima que hemos establecido en los estudios. El análisis de ciclo de vida se ha hecho tomando como referencias el 1º año, los 25, 50, 75 y 100 años de vida de los edificios.

En cuanto al mantenimiento de los materiales de construcción, se ha hecho una aproximación a la repercusión del consumo de materiales que suponen las tareas de conservación y reposición de elementos constructivos. La referencia técnica a tener en cuenta para la determinación de las tareas y las frecuencias de mantenimiento, reposición parcial y sustitución total de materiales y componentes son las fichas técnicas editadas por el Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITeC)<sup>19</sup>.

Para obtener los valores de peso, energía y emisiones se ha utilizado la base de datos "Metabase Banco Bedec" del ITeC (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya) y el programa TCQ 2000 para utilizarla.

---

<sup>18</sup> IDAE. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía.

<sup>19</sup> [ITeC 1991], Equipo técnico del Área de construcción existente del ITeC, *Manteniment de l'edifici. Fitxes*, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, 1991, ISBN 8478530304.

### 2.2.5 ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA DEMOLICIÓN DEL EDIFICIO:

En esta fase se calcula la energía y emisiones derivadas del derribo del edificio. En la fase de demolición se incluyen todas las operaciones necesarias para dejar el suelo libre una vez que el edificio ha acabado su vida útil.

Este estudio se basa en información estadística extraída de la base de datos “Metabase Banco Bedec” del ITeC (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya) y el programa TCQ 2000 para utilizarla, así como de otros trabajos ya mencionados <sup>20</sup>.

El cálculo del impacto ambiental derivado de la demolición de los edificios se hace diferenciando entre demolición de cimentaciones, de volumen sobre rasante con estructura vertical de acero o de hormigón armado, de cubierta y finalmente, relleno con tierras de aportación del volumen excavado en las cimentaciones de forma que se deje el terreno en su estado original.

The screenshot shows the ITeC metaBase interface. The main content area displays the following information:

**Modificar parámetros** Actualizaciones

Parámetros: Precios España, Abril 2010, Coste Directo, Obras tipo (PEM 1,712 M euros); Pliegos España; Definición con empresas, Sin criterio de medición;

BEDEC (30.04.2010)

**E211\_01 - DERRIBO DE EDIFICACIÓN (E)**

TCQ E2111400 m3 Derribo completo de volumen aparente de edificación hasta cota de cimentación o soleras, con estructura de acero, incluido instalaciones y canalizaciones existentes, con medios manuales y mecánicos, sin clasificación del residuo y carga sobre camión o contenedor **8,29 € (J,MA)**

Consumo	Peso		Coste energético		Emisión CO2
	Kg	MJ	kwh	Kg	
Componentes constitutivos de maquinaria	-	22,08	6,13	5,24	
eléctrica	-	4,60	1,28	0,67	
gasoil	-	17,47	4,85	4,56	
<b>Total</b>	-	<b>22,08</b>	<b>6,13</b>	<b>5,24</b>	

Residuo	Peso (Kg)	Volumen (m3)
Separación selectiva por códigos LER (Lista Europea de residuos) específicos	488,88	0,30
Residuo de obra	488,88	0,30
170904 (residuos mezclados de construcción y demolición que no contienen, mercurio, PCB ni sustancias peligrosas) no peligrosos (no especiales)	488,88	0,30
Separación selectiva según límites RD 105/2008		
170904 (residuos mezclados de construcción y demolición que no contienen, mercurio, PCB ni sustancias peligrosas)	488,88	0,30

Fig. 23. Imagen de la base de datos BEDEC del ITEC. Puede consultarse libremente en [www.itec.cat](http://www.itec.cat)

<sup>20</sup> Tesis Doctoral de Gerardo Wadel, *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. julio 2009.

**Fase 6/6 Derribo: Energía y emisiones**

Demolición <i>in situ</i>	Volumen	Energía	Emisiones		
	m <sup>3</sup>	MJ <i>eléctric</i>	MJ <i>gasol</i>	KgCO <sub>2</sub> <i>eléctric</i>	KgCO <sub>2</sub> <i>gasol</i>
Demolición volumen sobre rasante <sup>[1]</sup>	6489,60	29852,16	831836,93	2069,88	66315,89
Remoción de cimentaciones <sup>[2]</sup> y <sup>[3]</sup>	366,08	12767,04	113887,49	885,24	9079,36
Relleno con tierras de aportación <sup>[4]</sup> y <sup>[5]</sup>	412,00	0,00	58964,68	0,00	4700,80
<b>Subtotales</b>		<b>42619,20</b>	<b>1004689,10</b>	<b>2955,11</b>	<b>80096,05</b>

<sup>[1]</sup> Valores extraídos de la partida E211U030 del Banco PR/PCT del ITeC

<sup>[2]</sup> Valores extraídos de la partida E2131353 del Banco PR/PCT del ITeC

<sup>[3]</sup> Valores extraídos de la partida E2R6506A del Banco PR/PCT del ITeC

<sup>[4]</sup> Valores partida E2A11000 del Banco PR/PCT del ITeC y estimaciones propias

<sup>[5]</sup> Valores extraídos de la partida C1311120 del Banco PR/PCT del ITeC

	Energía	Emisiones	Tox. amb.	Tox. hum.
	MJ	KgCO <sub>2</sub>	ECA Kg/m <sup>2</sup>	HCA+HCW kg/m <sup>2</sup>
<b>Total/m<sup>2</sup></b>	<b>516,4</b>	<b>41,0</b>	<b>1217,98</b>	<b>0,304</b>

Fig. 24. Estudio de la energía y emisiones derivadas de la demolición de una construcción convencional realizada en la Tesis de Gerardo Wadel, *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. julio 2009, pág. 196.

Dado que la parte principal de nuestra tesis trata de la comparación de las distintas tipologías edificatorias desde el punto de vista volumétrico y no tanto desde el detalle específico de sus materiales componentes, la continuación del estudio a partir de la reutilización y/o reciclabilidad de los materiales procedentes de la deconstrucción no parece factible en el ámbito de esta tesis, si bien podría configurar una interesante continuación de la misma.