

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) 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) 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) 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

CAPÍTULO 3. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ENERGÉTICO EN EL CICLO DE VIDA COMPLETO DE 5 TIPOS EDIFICATORIOS

3.1 PROPUESTA Y DEFINICIÓN DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS:

- RASCACIELOS DE 100 PLANTAS. MODELO JOHN HANCOCK CENTER.
- RASCACIELOS DE 54 PLANTAS. MODELO SEAGRAM.
- BLOQUE DE VIVIENDAS DE 20 PLANTAS. MODELO UNITÉ D'HABITATION.
- BLOQUE DE VIVIENDAS DE 7 PLANTAS. MODELO ENSANCHE DE BARCELONA.
- VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA DE 1 PLANTA. MODELO CIUDAD DISPERSA.

3.2 ESTUDIO DE LA ENERGIA Y EMISIONES DE CO2 NECESARIAS EN EL CICLO DE VIDA COMPLETO DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS:

- 3.2.1 ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.
- 3.2.2 ENERGÍA Y EMISIONES PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES A LA OBRA.
- 3.2.3 ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO.
- 3.2.4 ENERGÍA Y EMISIONES PARA EL USO Y MANTENIMIENTO DEL EDIFICIO.
- 3.2.5 ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA DEMOLICIÓN DEL EDIFICIO.
- 3.2.6 SINTESIS DEL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS. CONCLUSIONES.

3.1 PROPUESTA Y DEFINICIÓN DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS:

Este capítulo es una primera aproximación para ver si el rascacielos es sostenible medioambientalmente o no. Para averiguarlo vamos a estudiar el impacto ambiental y energético del rascacielos en su ciclo de vida completo, comparándolo con otros tipos edificatorios urbanos, en un abanico suficiente (5 en total) que abarque la mayoría de las implantaciones edificatorias que habitualmente nos encontramos en las ciudades.

Los 5 tipos que hemos escogido son los siguientes:

- 1- Rascacielos de 100 plantas. Modelo John Hancock Center.
- 2- Rascacielos de 54 plantas. Modelo Seagram.
- 3- Bloque de viviendas de 20 plantas. Modelo Unité d'Habitation.
- 4- Bloque de viviendas de 7 plantas. Modelo Ensanche Barcelona.
- 5- Vivienda unifamiliar aislada de 1 planta. Modelo ciudad dispersa.

Para poder compararlos en igualdad de condiciones, hemos adaptado los 5 tipos para que todos tengan el mismo volumen y superficie total.

La referencia en cuanto a volumen y superficie es la manzana típica del Ensanche de Barcelona. De entre las distintas variantes que ha habido a lo largo de los años, hemos elegido la que se aproxima más al modelo planteado originalmente por Ildefons Cerdà ¹, que es la del período 1860-1891, constituido por una manzana cerrada por los cuatro lados de dimensiones 113 x 113 m, con una profundidad edificatoria de 28 m. y con una altura de edificación de planta baja más 6.

Para que se pueda homogeneizar esta solución con el resto de edificaciones, se ha simplificado el modelo original suprimiendo el entresuelo de planta baja y dando en su lugar una altura libre entre pisos de 2,50 m. con un grosor de los forjados y falso techo de 30 y 20cm. respectivamente.

Para eliminar las variables paramétricas de la diversidad de materiales, hemos definido un mismo sistema constructivo que es compatible con todos los tipos y que se utiliza habitualmente en la construcción de los mismos. Este sistema constructivo se ha ido adaptando a las necesidades de cada uno de ellos.

¹ Magrinyà Francesc, Marzà, Fernando; *Cerdà 150 años de modernidad*, Ed. Actar. Fundació Urbs i Territori Ildefons Cerdà, Barcelona, 2010.Pg 46.

Para enriquecer el estudio, se ha optado por dos cerramientos de fachada, uno ligero y otro pesado y dos tipos de estructura vertical: hormigón armado y metálica.

A continuación tenemos el cuadro con toda la casuística posible de sistemas considerados que conforman los edificios, según el tipo de cerramiento de fachada y el tipo de estructura vertical.

CUADRO DE CASUÍSTICA PARA CADA EDIFICIO:

Casuística	Estructura Vertical	Hoja Exterior	Hoja Interior	Cimentación	Cubierta
A	Acero	Ligera	Tabique de yeso laminado con aislamiento de lana de roca	Losas de hormigón armado	Plana invertida con acabado de grava
B		Pesada			
C	Hormigón armado	Ligera			
D		Pesada			

No se han considerado los acabados interiores de suelos y techos ya que no tienen ninguna repercusión en el estudio al tener todos la misma superficie total. Igualmente, no se han considerado las compartimentaciones interiores de los edificios, puesto que el estudio se centra únicamente en los volúmenes exteriores.

A continuación describimos el sistema constructivo empleado en el estudio:

Estructura:

- Estructura horizontal:

- Forjado de losa de hormigón armado de 30 cm. de espesor.

- Estructura vertical:

- Pilares de hormigón armado de dimensiones adaptadas a cada tipo.

En todos los tipos excepto los rascacielos se ha adoptado una estructura de pilares cuadrados de dimensión 30x30 cm, distribuidos en una malla de 5x5 m. en las dos direcciones XY.

En los rascacielos se ha adoptado una estructura habitual en este tipo de edificios que consiste en un núcleo central de hormigón HA-45 con un espesor de 50 cm. en las plantas inferiores y hormigón HA-30 con un espesor de 30 cm. en las plantas superiores. A su vez se complementa con una malla de pilares distribuidos en las dos direcciones XY cada 10 m. de hormigón HA-70 de diámetro 1,50 m. en las plantas inferiores, HA-45 de diámetro 1,35 m. en las plantas intermedias y HA-30 de diámetro 1,20 m. en las plantas superiores, con armaduras en todos los pilares de diámetro 32mm.

- Pilares de acero de dimensiones adaptadas a cada tipo.

En todos los tipos excepto los rascacielos se ha adoptado una estructura de pilares HB-140, distribuidos en una malla de 5x5 m. en las dos direcciones XY.

En los rascacielos se ha adoptado una estructura habitual en este tipo de edificios que consiste en un núcleo central de hormigón HA-45 con un espesor de 50 cm. en las plantas inferiores y hormigón HA-30 con un espesor de 30 cm. en las plantas superiores. A su vez se complementa con una malla de pilares distribuidos en las dos direcciones XY cada 10 m. HEM-300 en las plantas inferiores, HEM-240 en las plantas intermedias y HEM-160 en las plantas superiores.

- Cimentaciones:

- Losa de cimentación con la misma huella que la planta de las edificaciones y un espesor variable adaptado a las diferentes tipologías.

En el rascacielos de 100 plantas se hará una losa de cimentación de 5 m. de canto, en el de 54 plantas una losa de 2,75 m., en el bloque de viviendas de 20 plantas una losa de 1 m., en el bloque de 7 plantas una losa de 0,5 m. y en la vivienda aislada una losa de 0,3m.

Para establecer el dimensionado de la estructura y la cimentación de los rascacielos se ha tomado como referencia la estructura ejecutada en el rascacielos construido por los arquitectos Carlos Rubio Carvajal y Enrique Álvarez-Sala Walther ² en el paseo de la Castellana de Madrid y se ha adaptado a las dos tipos propuestos.

Cerramientos verticales:

Las fachadas están compuestas por un 50% de macizos y un 50% de huecos, siguiendo el modelo de composición de las manzanas del Ensanche de Barcelona.

- Huecos: De vidrio aislante transparente de suelo a techo de espesor (10/12/6+6) mm. con un peso de 57,63 Kg/m² y un coeficiente de transmisión térmica K de 1,88 W/m² °C.

- Macizos: Compuestos por dos hojas: una exterior de paneles ligeros o pesados y una interior de placas de yeso laminado, formada por estructura doble reforzada en H con perfilera de acero galvanizado, con un espesor total del tabique de 20 cm., montantes cada 60 cm. de 7 cm. de ancho y canales de 7 cm. de ancho, 2 placas en cada cara, las interiores

² Encabo Seguí, Enrique, *Técnica y estrategias sobre la construcción de la Torre SYV*, Ed. Q! Studio, Madrid, julio 2009.

tipo estándar de 15 mm. de espesor y las exteriores tipo hidrófuga de 15 mm. de espesor, fijadas mecánicamente y aislamiento de placas de lana de roca de resistencia térmica 1,667 m²k/W. El acabado de la cara interior es pintado. La subestructura se soporta de la hoja exterior es de perfiles omega de aluminio colocada en posición vertical y horizontal con grapas de acero inoxidable.

- Las fachadas ligeras son paneles prefabricados sándwich con dos planchas de acero de espesor 0,6 mm. la exterior y 0,5 mm. la interior, y aislamiento térmico de poliuretano con un espesor total de 70 mm., junta longitudinal machihembrada y sistema de fijación oculta, colocado en posición vertical, con un peso total de 12,02 Kg/m².

- Las fachadas pesadas son placas conformadas nervadas de hormigón armado de 20 cm. de espesor, con aislamiento de poliestireno expandido de 11 cm. de espesor, con un peso total de 303,38 Kg/m², con acabado liso color blanco a una cara.

Estas dos fachadas están sujetas a una estructura auxiliar de acero de dimensiones 110 x 70 x 3 mm. colocada verticalmente cada metro y sujeta al forjado de cada planta.

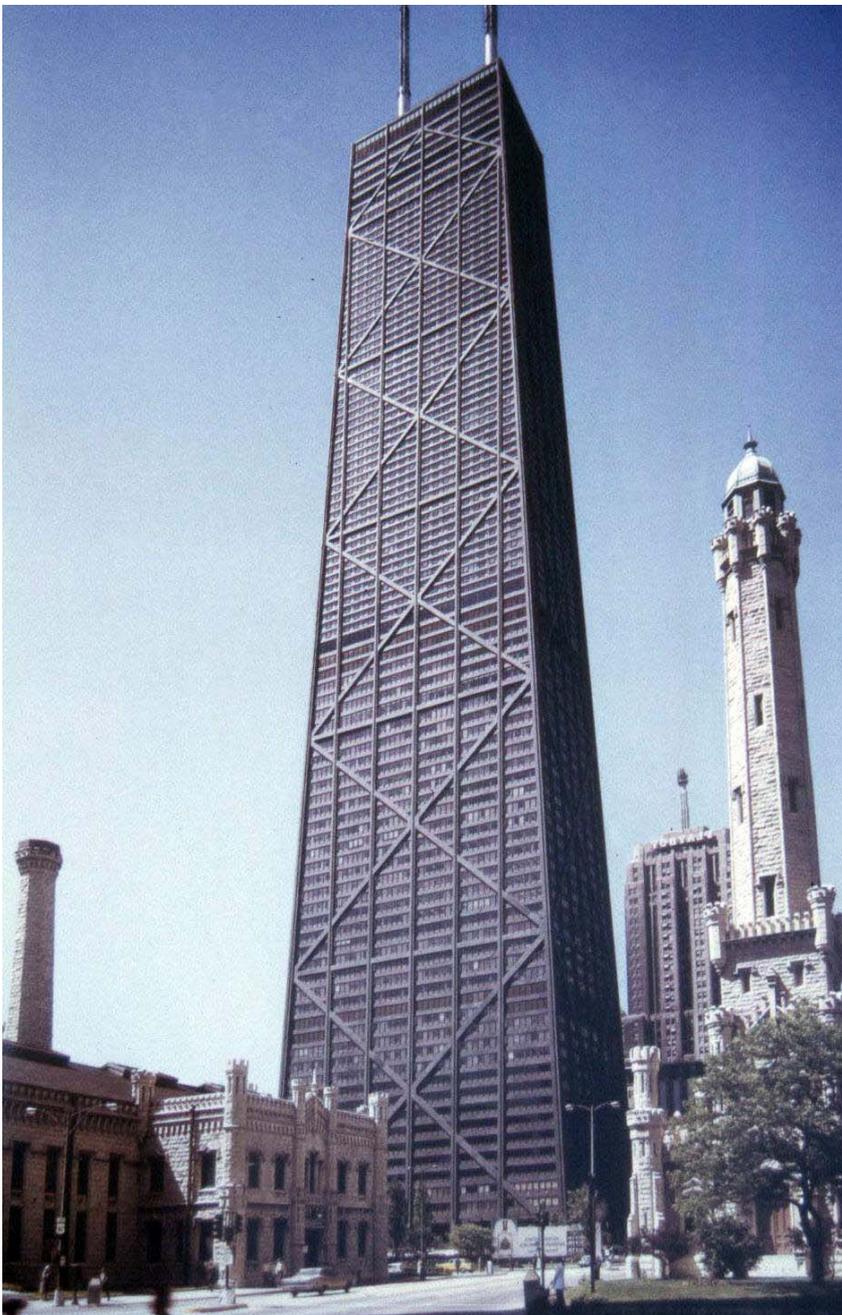
Cubierta:

Cubierta plana invertida no transitable con pendientes de hormigón celular, capa de protección para membranas, de mortero, impermeabilización con una membrana de una lámina de densidad superficial 4,1 Kg/m² con lámina de betún modificado LBM-40-FV de 100 g/m², aislamiento con placas de poliestireno extruido de 55 mm., capa separadora con geotextil y acabado de azotea con capa de protección de canto rodado, sobre el forjado de la última planta.

1ª TIPOLOGÍA: RASCACIELOS DE 100 PLANTAS. (MODELO JOHN HANCOCK CENTER):

MODELO JOHN HANCOCK CENTER	
Nº de plantas	100,00
Superficie en planta	638,40 m ²
Superficie total	63.840 m ²
Volumen	191.520 m ³
Altura total del edificio	301,00 m
Altura libre de la planta tipo	2,50 m
Forjado	0,30 m
Dimensiones en planta	32 x 19,95 m
Superficie fachada exterior	31.273,90 m ²
Superficie cubierta	638,40 m ²
Factor de forma	0,163 m ² /m ³

Imagen del John Hancock Center de SOM architects, Chicago.



2ª TIPOLOGÍA: RASCACIELOS DE 54 PLANTAS. (MODELO SEAGRAM):

MODELO SEAGRAM	
Nº de plantas	54,00
Superficie en planta	1.182,40 m ²
Superficie total	63.840 m ²
Volumen	191.520 m ³
Altura total del edificio	163 m
Altura libre de la planta tipo	2,50 m
Forjado	0,30 m
Dimensiones en planta	43,65 x 27,09 m
Superficie fachada exterior	23.061,24 m ²
Superficie cubierta	1.182,40 m ²
Factor de forma	0,12 m ² /m ³

Imagen del edificio Seagram de Mies Van der Rohe, Nueva York.



3ª TIPOLOGÍA: BLOQUE DE VIVIENDAS DE 20 PLANTAS. (MODELO UNITÉ D'HABITATION):

MODELO UNITE D'HABITATION	
Nº de plantas	20,00
Superficie en planta	3.192 m ²
Superficie total	63.840 m ²
Volumen	191.520 m ³
Altura total del edificio	61,00 m
Altura libre de la planta tipo	2,50 m
Forjado	0,30 m
Dimensiones en planta	146 x 21,86 m
Superficie fachada exterior	20.478,92 m ²
Superficie cubierta	3.192 m ²
Factor de forma	0,1069 m ² /m ³

Imagen de la Unite d'Habitation de Marsella de Le Corbusier.



4ª TIPOLOGÍA: BLOQUE DE VIVIENDAS DE 7 PLANTAS. (MODELO ENSANCHE BARCELONA):

MODELO ENSANCHE BARCELONA	
Nº de plantas	7
Superficie en planta	9.120 m ²
Superficie total	63.840 m ²
Volumen	191.520 m ³
Altura total del edificio	22 m
Altura libre de la planta tipo	2,50 m
Forjado	0,30 m
Dimensiones en planta	113 x 113 m
Superficie fachada exterior	14.230,92 m ²
Superficie cubierta	9.120 m ²
Factor de forma	0,074 m ² /m ³

Imagen del Ensanche de Barcelona.



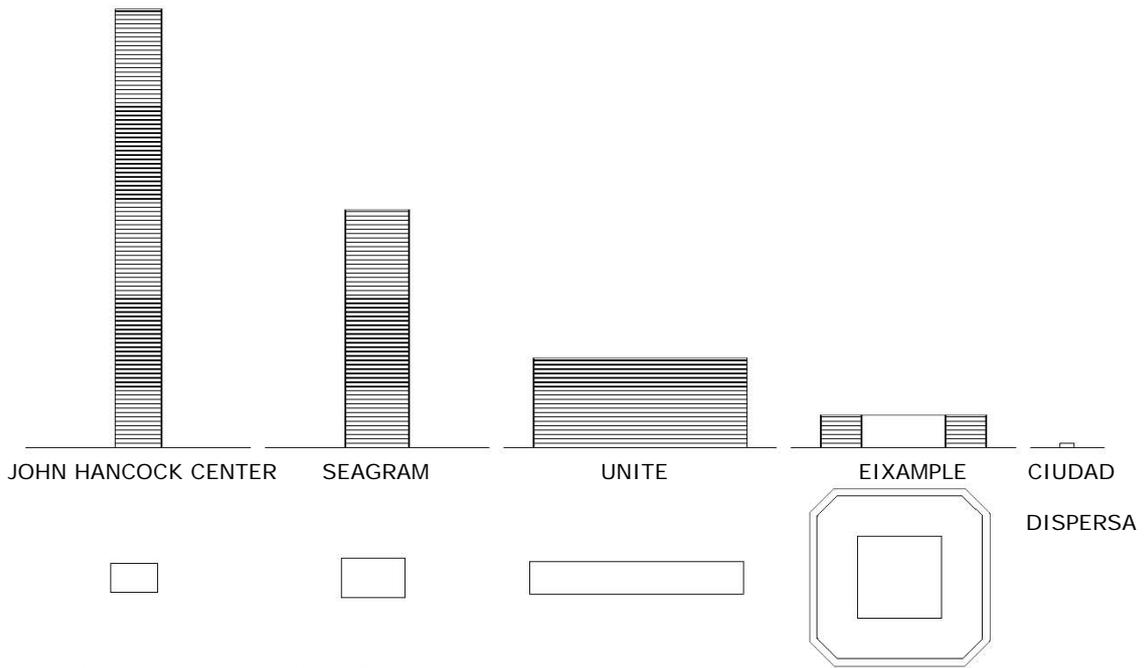
5ª TIPOLOGÍA: VIVIENDA UNIFAMILIAR DISPERSA DE 1 PLANTA. (MODELO CIUDAD DISPERSA):

MODELO CIUDAD DISPERSA	
Nº de plantas	1
Nº de viviendas	638
Superficie en planta	63.840 m ²
Superficie total	63.840 m ²
Volumen	191.520 m ³
Altura total del edificio	3,00 m
Altura libre de la planta tipo	2,50 m
Forjado	0,30 m
Dimensiones en planta	10,95 x 10,95 m
Superficie fachada exterior	76.579,14 m ²
Superficie cubierta	63.840 m ²
Factor de forma	0,4 m ² /m ³

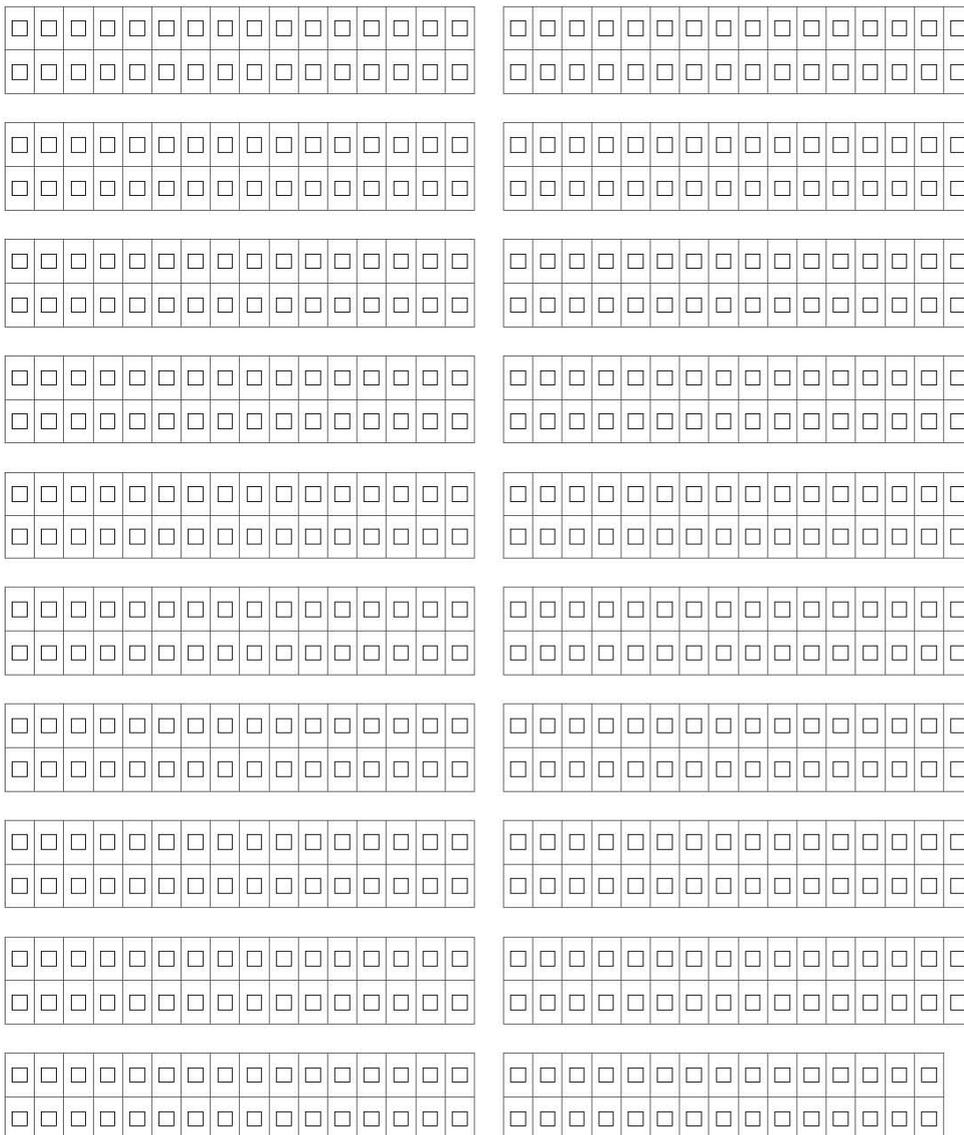
Imagen del urbanismo disperso (urban sprawl) de Los Ángeles, California



ALZADOS Y PLANTAS DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS:



CIUDAD DISPERSA (PLANTA)



3.2 ESTUDIO DE LA ENERGÍA Y EMISIONES DE CO₂ NECESARIAS EN EL CICLO DE VIDA COMPLETO DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS.

En este capítulo cuantificaremos y analizaremos el impacto ambiental del rascacielos y de los otros 4 tipos edificatorios a través del análisis de su ciclo de vida.

En lo que se refiere al alcance del análisis del ciclo de vida que vamos a realizar, como hemos comentado en el capítulo anterior, 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, sino más bien obtener unas cifras que nos permitan analizar y comparar el grado de sostenibilidad del rascacielos en sus diversas posibilidades y respecto a otros tipos de edificación.

Distinguiremos 6 apartados:

- 3.2.1 Estudio de la energía y emisiones necesarias para la extracción y producción de materiales para la construcción del edificio.
- 3.2.2 Estudio de la energía y emisiones necesarias para el transporte de materiales a la obra.
- 3.2.3 Estudio de la energía y emisiones necesarias para la construcción del edificio.
- 3.2.4 Estudio de la energía y emisiones necesarias para el uso y mantenimiento del edificio.
- 3.2.5 Estudio de la energía y emisiones necesarias para la demolición del edificio.
- 3.2.6 Síntesis del Análisis del Ciclo de Vida de los 5 tipos. Conclusiones.

3.2.1 ENERGÍA Y EMISIONES DE CO₂ PARA LA EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO:

A continuación vamos a realizar el cálculo de la energía y emisiones de CO₂ necesarias para la extracción y producción de materiales para la construcción de los 5 tipos definidos. En el cuadro inferior aparecen todos los materiales empleados para la construcción de los diferentes edificios, así como su densidad, energía y emisiones de CO₂ derivadas de la extracción y producción de los materiales ³.

* PESO, CONTENIDO ENERGÉTICO Y EMISIONES DERIVADOS DE LA EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:

Partida	Material	Energía MJ/m ²	Emisiones Kg CO ₂ /m ²	Peso Kg/m ²
Cimentación	Hormigón HA-35 de losa de cimentación	1.770 MJ/m ³	342,26 Kg CO ₂ /m ³	2.563 Kg/m ³
	Armadura diámetro 32 mm. de losa de cimentación	37,69 MJ/Kg	3,04 Kg CO ₂ /Kg	1,07 Kg/Kg
Estructura	Forjado de losa HA-30 de 30 cm de espesor	1800,96 MJ/m ²	195,61 Kg CO ₂ /m ²	782,45 Kg/m ²
	Pilar HA-25 con cuantía 120 Kg/m ³	7.184,2 MJ/m ³	716,23 Kg CO ₂ /m ³	2.704,61 Kg/m ³
	Pilar HA-30 con cuantía 120 Kg/m ³	7.283,37 MJ/m ³	738,1 Kg CO ₂ /m ³	2.730,86 Kg/m ³
	Pilar HA-45 con cuantía 120 Kg/m ³	7.481,71 MJ/m ³	781,82 Kg CO ₂ /m ³	2.783,36 Kg/m ³
	Pilar HA-70 con cuantía 120 Kg/m ³	7.580,88 MJ/m ³	803,68 Kg CO ₂ /m ³	2.809,61 Kg/m ³
	Armadura diámetro 32 mm.en pilares	37,40 MJ/Kg	3,01 Kg CO ₂ /Kg	según la cuantía
	Armadura diámetro 32 mm.en muros	37,69 MJ/Kg	3,04 Kg CO ₂ /Kg	según la cuantía
	Pilares de acero	43,59 MJ/Kg	4,30 Kg CO ₂ /Kg	7.850 Kg/m ³
	Núcleo central de muro HA-25 (acero 60 Kg/m ³)	7.251,67 MJ/m ³	743,41 Kg CO ₂ /m ³	2.714,73 Kg/m ³
	Núcleo central de muro HA-30 (acero 60 Kg/m ³)	7.350,84 MJ/m ³	765,28 Kg CO ₂ /m ³	2.740,98 Kg/m ³
	Núcleo central de muro HA-45 (acero 60 Kg/m ³)	7.549,18 MJ/m ³	809 Kg CO ₂ /m ³	2.793,48 Kg/m ³
Fachada	Subest. perfiles Aluminio y grapas acero inox.	431,88 MJ/m ²	24,61 Kg CO ₂ /m ²	3,08 Kg/m ²
	Fachada ligera de panel sándwich de acero	569,33 MJ/m ²	56,28 Kg CO ₂ /m ²	12,02 Kg/m ²
	Fachada pesada de panel sándwich de HA	954,07 MJ/m ²	104,03 Kg CO ₂ /m ²	303,38 Kg/m ²
	Tabique de yeso laminado	847,42 MJ/m ²	59,33 Kg CO ₂ /m ²	64,39 Kg/m ²
	Vidrio aislante laminado 10/12/6+6	962,23 MJ/m ²	59,64 Kg CO ₂ /m ²	57,63 Kg/m ²
	Perfiles de aluminio lacado del vidrio	1.058,27 MJ/ml	60,70 Kg CO ₂ /ml	6,55 Kg/ml
	Pintura	27,11 MJ/m ²	4 Kg CO ₂ /m ²	0,55 Kg/m ²
Cubierta	Plana invertida con grava	697,68 MJ/m ²	113,82 Kg CO ₂ /m ²	246,11 Kg/m ²

En el capítulo 10, se puede consultar el anexo de cálculos con los resultados pormenorizados del impacto ambiental derivado de la extracción y producción de materiales necesarios para la construcción de los 5 tipos edificatorios según la casuística que hemos visto anteriormente. A continuación se refleja el resumen de los mismos:

³ Datos extraídos de Metabase Banco Bedec del ITeC.

CUADRO RESUMEN DE ENERGÍA Y EMISIONES DE CO2 PARA LA EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:

	Tipo					
Energía (M.J.)	A. Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	302.419.965,94	247.444.340,81	185.151.441,34	185.418.279,14	435.724.916,34
	B. Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	309.455.475,47	252.642.693,76	189.801.378,20	188.715.847,20	452.911.702,29
	C. Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	340.480.665,80	298.273.959,31	177.728.219,29	178.905.912,74	421.517.143,08
	D. Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	347.516.175,33	303.472.312,26	182.378.156,15	182.203.480,80	438.703.929,03
Emisiones CO2 (Kg.)	A. Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	28.823.483,93	24.079.463,86	18.831.591,22	19.560.187,73	44.882.516,20
	B. Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	29.696.659,53	24.724.630,34	19.408.693,90	19.969.448,21	47.015.564,57
	C. Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	32.363.460,83	28.645.623,04	18.105.419,02	18.923.119,66	43.492.649,62
	D. Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	33.236.636,43	29.290.789,53	18.682.521,70	19.332.380,14	45.625.697,98

CONCLUSIONES:

1. Respecto a los tipos edificatorios: El rascacielos -en lo que a extracción y producción de materiales se refiere- no es el tipo de edificio más contaminante desde el punto de vista ambiental. Ese lugar lo ocupa el modelo de ciudad dispersa, debido a la mayor cantidad de material que necesita el modelo de vivienda de baja densidad; multiplica las superficies de fachada, cubierta y estructura enormemente, al no compartirlas con ninguna vivienda. De los dos edificios en altura, el modelo Seagram, debido a su mayor compacidad, requiere menos energía y produce menos emisiones para la fabricación de sus materiales que el modelo John Hancock.

Los modelos tipo Ensanche y Unité son los más sostenibles. Sus resultados son prácticamente idénticos; el modelo Ensanche da unas cantidades de energía y de emisiones ligeramente por encima del modelo Unité. Dada su condición de edificios compactos, requieren menos fachada, cubierta y estructura.

2. Respecto al tipo de estructura: Los edificios con estructura de acero -en lo que a extracción y producción de materiales se refiere- tienen un mayor impacto ambiental que los de hormigón armado.

La razón se encuentra en el alto coste energético para la fabricación del acero (20 veces más que la del hormigón).

Esto es así en todos los tipos estudiados excepto en los rascacielos. En los tipos Unité, Ensanche y Ciudad Dispersa nos encontramos con estructuras de hormigón armado con cuantías de acero relativamente pequeñas, por lo que, su incidencia en los cálculos es muy pequeña y, por tanto, como hemos visto, el alto contenido energético de las estructuras de acero hace que consuman más energía en su fabricación que las de hormigón armado.

Sin embargo, en los rascacielos de hormigón armado se produce un aumento importante en la cuantía de acero de sus estructuras para reforzarlos debido a las altas sollicitaciones a las que están sometidos, por lo que su incidencia aumenta hasta el punto de invertir la balanza y hacer que las estructuras de hormigón armado de estos edificios tengan un mayor impacto ambiental que las de acero.

También es importante señalar que aunque los costes energéticos de fabricación de las estructuras de acero son altos, no lo son los de su reciclaje, que puede hacerse indefinidamente. Para disminuir el impacto ambiental de las estructuras de acero, éstas deben ser proyectadas con uniones fácilmente desmontables (atornilladas, no soldadas) y con medidas estándar de sus componentes, lo que garantizaría su reutilización. En este caso, un edificio con estructura de acero tendría un impacto menor que uno de hormigón armado.

Por consiguiente, el grado de sostenibilidad del edificio según su estructura dependerá, en primer lugar de si ésta es reciclada, reutilizada o hecha "desde cero" y en segundo lugar, del tipo de edificio que vayamos a construir.

3. Respecto al tipo de fachada: Las fachadas pesadas tienen un mayor impacto ambiental que las ligeras debido a la mayor energía necesaria para la fabricación de los paneles de hormigón armado respecto a los de panel sándwich de acero.

3.2.2 ENERGÍA Y EMISIONES DE CO₂ PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES A LA**OBRA:**

En este estudio se calcularán la energía y emisiones derivadas del transporte de materiales a la obra para la ejecución de los diversos edificios.

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 estudios ⁴ en los que sí se ha realizado este cálculo pormenorizado.

El factor de conversión que hemos obtenido del estudio mencionado anteriormente y que nos va a permitir calcular la energía y emisiones de CO₂ es 3,90 litros de gasoil/ Tonelada de peso transportado, o lo que es lo mismo, 168,360 MJ/ Tonelada. El factor de conversión de MJ a Kg. de CO₂ es 1MJ= 0,0797 Kg. de CO₂.

***PESO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:**

Partida	Material	Peso Kg/m2
Cimentación	Hormigón HA-35 de losa de cimentación	2.563 Kg/m3
	Armadura diámetro 32 mm. de losa de cimentación	1,07 Kg/Kg
Estructura	Forjado de losa HA-30 de 30 cm de espesor	782,45 Kg/m2
	Pilar HA-25 con cuantía 120 Kg/m3	2.704,61 Kg/m3
	Pilar HA-30 con cuantía 120 Kg/m3	2.730,86 Kg/m3
	Pilar HA-45 con cuantía 120 Kg/m3	2.783,36 Kg/m3
	Pilar HA-70 con cuantía 120 Kg/m3	2.809,61 Kg/m3
	Armadura diámetro 32 mm.en pilares	según la cuantía
	Armadura diámetro 32 mm.en muros	según la cuantía
	Pilares de acero	7.850 Kg/m3
	Núcleo central de muro HA-25 (acero 60 Kg/m3)	2.714,73 Kg/m3
	Núcleo central de muro HA-30 (acero 60 Kg/m3)	2.740,98 Kg/m3
Núcleo central de muro HA-45 (acero 60 Kg/m3)	2.793,48 Kg/m3	
Fachada	Subest. perfiles Aluminio y grapas acero inox.	3,08 Kg/m2
	Fachada ligera de panel sándwich de acero	12,02 Kg/m2
	Fachada pesada de panel sándwich de HA	303,38 Kg/m2
	Tabique de yeso laminado	64,39 Kg/m2
	Vidrio aislante laminado 10/12/6+6	57,63 Kg/m2
	Perfiles de aluminio lacado del vidrio	6,55 Kg/ml
	Pintura	0,55 Kg/m2
Cubierta	Plana invertida con grava	246,11 Kg/m2

En el capítulo 10, se puede consultar el anexo de cálculos con los resultados pormenorizados del impacto ambiental derivado del transporte a la obra de los materiales necesarios para la construcción de los 5 tipos edificatorios según la casuística que hemos visto anteriormente. A continuación se refleja el resumen de los mismos:

⁴ Tesis Doctoral de Gerardo Wadel, *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda.* julio 2009.

CUADRO RESUMEN DE ENERGÍA Y EMISIONES PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES A LA**OBRA:**

	Tipo					
Energía (MJ.)	A. Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	12.276.231,98	10.738.161,24	10.250.959,17	11.042.440,49	20.631.358,49
	B. Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	13.173.241,51	11.400.937,99	10.843.814,27	11.462.872,02	22.822.629,90
	C. Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	14.715.045,05	13.305.241,78	10.568.644,23	11.321.157,25	21.239.408,76
	D. Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	15.612.054,58	13.968.018,54	11.161.499,33	11.741.588,77	23.430.680,17
Emisiones CO2 (Kg.)	A. Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	978.415,69	855.831,45	817.001,45	880.082,51	1.644.319,27
	B. Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	1.049.907,35	908.654,76	864.252,00	913.590,90	1.818.963,60
	C. Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	1.172.789,09	1.060.427,77	842.320,95	902.296,23	1.692.780,88
	D. Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	1.244.280,75	1.113.251,08	889.571,50	935.804,63	1.867.425,21

CONCLUSIONES:

1. Respecto a los tipos edificatorios: Al igual que sucedía en el capítulo anterior, el rascacielos -en lo que a transporte de materiales se refiere- tampoco es el tipo de edificio más contaminante desde el punto de vista ambiental. Ese lugar lo ocupa el modelo de ciudad dispersa, debido a la mayor cantidad de material que necesita el modelo de vivienda de baja densidad; multiplica las superficies de fachada, cubierta y estructura enormemente, al no compartirlas con ninguna vivienda.

El modelo tipo Unité, es el más sostenible, debido a su condición de edificio compacto. Le siguen -por orden de más a menos sostenible- el rascacielos de 54 plantas y el modelo Ensanche en este orden o en el contrario en función del tipo de estructura que tengan. Si es de acero, va por delante el Seagram respecto al modelo Ensanche, mientras que si es de hormigón armado, al revés, ya que la estructura del rascacielos de hormigón armado tiene una cuantía de acero y de hormigón mucho mayor que la del modelo Ensanche, por las solicitaciones a las que está sometido.

2. Respecto al tipo de estructura y de fachada: Los edificios de estructura de acero y fachadas ligeras tienen un impacto ambiental menor que los de hormigón armado y fachadas pesadas. Esto se debe a que los edificios con estructura de acero y fachadas ligeras pesan

menos y, por consiguiente, en el transporte de los materiales, se consume menos energía y se emiten menos gases.

Por regla general, cuanto más pesado es un edificio, mayor suele ser el impacto medioambiental. Normalmente, un edificio de acero pesa la mitad que uno de hormigón. En este caso no es así, porque la estructura horizontal es la misma para todos los tipos. Si hubiésemos diferenciado también la estructura horizontal entre ligera y pesada, la diferencia entre ellos sería mucho mayor.

Para evitar cálculos excesivamente complicados, no se ha tenido en cuenta la dispersión geográfica que supone la construcción dispersa, lo que aumentaría aún más su impacto ambiental y lo distanciaría más del resto de tipos constructivos.

Igualmente, no se han tenido en cuenta los desplazamientos en vertical de los materiales en el caso de los rascacielos, dada la poca variación que esto supondría, la poca repercusión que tiene este apartado en el ciclo de vida completo y la enorme dificultad que sería para el cálculo.

3.2.3 ENERGÍA Y EMISIONES DE CO₂ PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO:

En esta fase se calcula la energía y emisiones derivadas de la puesta en obra de los diversos edificios. En la fase de construcción no se producen impactos ambientales de gran magnitud, a excepción de la generación de residuos sólidos; por lo que dada esta poca repercusión en el ACV y la dificultad del cálculo de estos parámetros, este estudio se basa en información estadística extraída de otros estudios ⁵ en los que sí se ha realizado este cálculo detallado. El factor de conversión que hemos obtenido del estudio mencionado anteriormente y que nos va a permitir calcular la energía y emisiones de CO₂ es 314,76 MJ/ Tonelada de peso construido. El factor de conversión de MJ a Kg. de CO₂ en esta fase es 1MJ= 0,1197 Kg. de CO₂.

En el capítulo 10, se puede consultar el anexo de cálculos con los resultados pormenorizados del impacto ambiental derivado de la construcción de los 5 tipos edificatorios según la casuística que hemos visto anteriormente. A continuación se refleja el resumen de los mismos:

⁵ Tesis Doctoral de Gerardo Wadel, *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. julio 2009.

CUADRO RESUMEN DE ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO:

	Tipo	 1. J. H. Center	 2. Seagram	 3. Unité d'Habitation	 4. Ensanche	 5. Ciudad Dispersa
Energía (M.J.)	A. Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	22.951.216,30	20.075.692,75	19.164.836,70	20.644.562,66	38.571.670,21
	B. Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	24.628.234,13	21.314.797,11	20.273.217,98	21.430.586,82	42.668.395,03
	C. Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	27.510.736,39	24.875.017,24	19.758.769,65	21.165.641,81	39.708.459,86
	D. Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	29.187.754,22	26.114.121,61	20.867.150,93	21.951.665,97	43.805.184,67
Emisiones CO2 (Kg.)	A. Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	2.747.260,59	2.403.060,42	2.294.030,95	2.471.154,15	4.617.028,92
	B. Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	2.947.999,63	2.551.381,21	2.426.704,19	2.565.241,24	5.107.406,88
	C. Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	3.293.035,15	2.977.539,56	2.365.124,73	2.533.527,33	4.753.102,65
	D. Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	3.493.774,18	3.125.860,36	2.497.797,97	2.627.614,42	5.243.480,61

CONCLUSIONES:

1. Respecto a los tipos edificatorios: El rascacielos -en lo que a puesta en obra se refiere- no es el tipo de edificio más contaminante desde el punto de vista ambiental. Ese lugar lo ocupa el modelo de ciudad dispersa, debido a la mayor cantidad de material a construir que necesita el modelo de vivienda de baja densidad; multiplica las superficies de fachada, cubierta y estructura enormemente, al no compartirlas con ninguna vivienda.

El modelo tipo Unité, es el más sostenible, debido a su condición de edificio compacto. Le siguen el rascacielos de 54 plantas y el modelo Ensanche en este orden o en el contrario en función del tipo de estructura que tengan. Si es de acero, va por delante el Seagram respecto al modelo Ensanche, mientras que si es de hormigón armado, al revés, ya que la estructura del rascacielos de hormigón armado tiene una cuantía de acero y de hormigón mucho mayor que la del modelo Ensanche y también un mayor peso.

2. Respecto al tipo de estructura y fachada: En este apartado, el factor determinante es el factor de conversión ambiental: MJ/Tonelada de peso construido. Por tanto, los edificios de estructura de acero y los de fachada ligera, al pesar menos, tienen un impacto ambiental menor en su puesta en obra que los de hormigón armado y de fachada pesada, por lo que requieren menos energía y producen menos emisiones.

3.2.4 ENERGÍA Y EMISIONES DE CO₂ PARA EL USO Y MANTENIMIENTO DEL EDIFICIO:

En este estudio 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. Se divide en dos partes: en primer lugar los cálculos del impacto ambiental anual derivado del uso del edificio y en segundo lugar los cálculos del impacto ambiental derivado del mantenimiento de los materiales del mismo durante su vida útil.

* TABLA CON LOS COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN TÉRMICA "K" DE CADA PARAMENTO CALCULADOS CONFORME AL CTE DB-HE AHORRO DE ENERGÍA ⁶:

Partida	Coficiente de transmisión termica K W/m2K
Terreno	0,570
Fachada Ligera	0,261
Fachada Pesada	0,191
Cubierta	0,473
Vidrio	1,880

El cálculo del mantenimiento se ha realizado para un período mínimo de 25 años de vida útil, prorrateando las distintas operaciones que hay que llevar a cabo a esa duración. Se ha considerado un nivel medio de mantenimiento según los criterios establecidos en las fichas de mantenimiento del ITEC ⁷. Las partidas que concentran el impacto ambiental del mantenimiento son las de acabados superficiales interiores, cerramientos exteriores y cubierta. En el siguiente cuadro podemos ver el resumen de cada una de las operaciones necesarias para el mantenimiento del edificio, así como las frecuencias de mantenimiento y su repercusión ambiental:

Partida	Material	Frecuencia de mantenimiento (años)	Energía MJ/m2 (25 años)	Emisiones Kg CO2/m2 (25 años)
Fachada	Sustitución de los perfiles de aluminio lacado	50	529,13 MJ/ml	30,35 Kg CO2/ml
	Reposición de sellado de vidrios	10	0,375 MJ/ml	0,055 Kg CO2/ml
	Rascar y repintar las paredes interiores	10	67,77 MJ/m2	10 Kg CO2/m2
Cubierta	Sustitución de lámina impermeable	25	201,84 MJ/m2	29,65 Kg CO2/m2
	Sustitución de aislamiento térmico	50	101,35 MJ/m2	14,96 Kg CO2/m2
	Reposición de cantos de río	15	35,33 MJ/m2	1,88 Kg CO2/m2

En el capítulo 10, se puede consultar el anexo de cálculos con los resultados pormenorizados del impacto ambiental derivado del uso y mantenimiento de los 5 tipos edificatorios según la casuística que hemos visto anteriormente. A continuación se refleja el resumen de los mismos:

⁶ CTE-DB-HE Código Técnico de la Edificación,

⁷ [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.

CUADRO RESUMEN DE LA ENERGÍA Y EMISIONES PARA EL USO DEL EDIFICIO**DURANTE 1 AÑO****BARCELONA:**

RESUMEN ENERGIA Y EMISIONES DERIVADAS DEL USO DURANTE 1 AÑO					
Modelo		Energia (kWh/m3 año)	Energia 1 año (kWh)	Energia 1 año (MJ)	Emisiones 1 año CO₂ (Kg.)
1. John Hancock Center	Fachada Ligera	27,98	5.358.729,60	19.291.426,56	2.876.117,13
	Fachada Pesada	27,94	5.351.068,80	19.263.847,68	2.881.372,44
2. Seagram	Fachada Ligera	26,65	5.104.008,00	18.374.428,80	2.692.053,00
	Fachada Pesada	25,17	4.820.558,40	17.354.010,24	2.597.581,93
3. Unité	Fachada Ligera	24,74	4.738.204,80	17.057.537,28	2.491.294,08
	Fachada Pesada	24,72	4.734.374,40	17.043.747,84	2.494.773,99
4. Ensanche	Fachada Ligera	25,07	4.801.406,40	17.285.063,04	2.551.913,99
	Fachada Pesada	25,06	4.799.491,20	17.278.168,32	2.554.080,08
5. Ciudad Dispersa	Fachada Ligera	36,93	7.072.833,60	25.462.200,96	3.859.026,49
	Fachada Pesada	36,84	7.055.596,80	25.400.148,48	3.870.850,94

MADRID:

RESUMEN ENERGIA Y EMISIONES DERIVADAS DEL USO DURANTE 1 AÑO					
Modelo		Energia (kWh/m3 año)	Energia 1 año (kWh)	Energia 1 año (MJ)	Emisiones 1 año CO₂ (Kg.)
1. John Hancock Center	Fachada Ligera	29,84	5.714.956,80	20.573.844,48	2.816.686,56
	Fachada Pesada	29,77	5.701.550,40	20.525.581,44	2.823.326,55
2. Seagram	Fachada Ligera	28,51	5.460.235,20	19.656.846,72	2.659.894,88
	Fachada Pesada	28,44	5.446.828,80	19.608.583,68	2.662.273,56
3. Unité	Fachada Ligera	26,72	5.117.414,40	18.422.691,84	2.480.017,38
	Fachada Pesada	26,67	5.107.838,40	18.388.218,24	2.483.177,46
4. Ensanche	Fachada Ligera	26,71	5.115.499,20	18.415.797,12	2.523.944,40
	Fachada Pesada	26,67	5.107.838,40	18.388.218,24	2.524.938,39
5. Ciudad Dispersa	Fachada Ligera	41,00	7.852.320,00	28.268.352,00	3.867.190,99
	Fachada Pesada	40,70	7.794.864,00	28.061.510,40	3.869.106,19

CUADRO RESUMEN DE LA ENERGÍA Y EMISIONES DERIVADAS DEL USO DEL EDIFICIO DURANTE 1 AÑO

	Tipo					
Energía (M.J.)	Cerramientos Ligeros Barcelona	19.291.426,56	18.374.428,80	17.057.537,28	17.285.063,04	25.462.200,96
	Cerramientos Ligeros Madrid	20.573.844,48	19.656.846,72	18.422.691,84	18.415.797,12	28.268.352,00
	Cerramientos Pesados Barcelona	19.263.847,68	17.354.010,24	17.043.747,84	17.278.168,32	25.400.148,48
	Cerramientos Pesados Madrid	20.525.581,44	19.608.583,68	18.388.218,24	18.388.218,24	28.061.510,40
	Emisiones CO2 (Kg.)	Cerramientos Ligeros Barcelona	2.876.117,13	2.692.053,00	2.491.294,08	2.551.913,99
	Cerramientos Ligeros Madrid	2.816.686,56	2.659.894,88	2.480.017,38	2.523.944,40	3.867.190,99
	Cerramientos Pesados Barcelona	2.881.372,44	2.597.581,90	2.494.773,99	2.554.080,08	3.870.850,94
	Cerramientos Pesados Madrid	2.823.326,55	2.662.273,56	2.483.177,46	2.524.938,39	3.869.106,19

CONCLUSIONES:

1. Respecto a los tipos edificatorios: El modelo de ciudad dispersa es el que genera un impacto ambiental mayor, debido a la gran cantidad de superficies en contacto con el exterior. El resto de modelos, al ser más compactos y tener menos contacto con el exterior, consumen menos recursos para garantizar el confort diario.

El modelo que menos impacto ambiental tiene es el modelo Unité, seguido del Ensanche, Seagram, JHC y ciudad dispersa.

Se da la paradoja que en Barcelona el edificio más extendido actualmente, que es el Ensanche, no es el más idóneo energéticamente. Éste es el modelo Unité, mientras que en Madrid, el que menos energía consume es el modelo Ensanche, un arquetipo prácticamente inexistente.

2. Respecto al tipo de fachadas: Los edificios con fachadas pesadas tienen un impacto ambiental energéticamente menor que las ligeras. Esto se debe al mayor aislamiento térmico de sus cerramientos. Sin embargo, si nos fijamos en las emisiones de CO₂, sucede al revés.

En este estudio, los modelos que funcionan mejor energéticamente no siempre son los que menos emisiones producen. Esto es debido a la gran diferencia de emisiones que producen las diversas fuentes de energía. Por ejemplo, la refrigeración emite mucho más

CO₂ que la calefacción por gas. Por esta razón, aunque un edificio tenga más aislamiento térmico (y por consiguiente, mejor comportamiento en invierno), debido a la mayor refrigeración que se necesita en verano, produce más emisiones de CO₂.

3. Respecto a las ciudades: De los resultados obtenidos se puede deducir que se requiere más energía en Madrid que en Barcelona para todos los tipos. En lo que se refiere a las emisiones, sucede al revés. Si nos fijamos en los gráficos por estaciones, vemos claramente el motivo: excepto en verano, en primavera y otoño se necesita más refrigeración en Barcelona que en Madrid, con la consiguiente mayor producción de emisiones de CO₂.

CUADRO RESUMEN DE LA ENERGÍA Y EMISIONES DERIVADAS DEL MANTENIMIENTO DEL EDIFICIO DURANTE 25 AÑOS:

					
	1. J. H. Center	2. Seagram	3. Unité d'Habitation	4. Ensanche	5. Ciudad Dispersa
Energía (M.J.)	6.597.830,99	5.092.838,61	5.204.657,82	5.868.491,19	37.289.865,77
Emisiones CO2 (Kg.)	475.462,17	382.760,54	436.477,41	618.263,45	4.063.130,88

CONCLUSIONES:

1. Respecto a los tipos edificatorios: El modelo de ciudad dispersa, dada la mayor exposición de sus cerramientos al exterior, es el que mayor impacto ambiental produce para su mantenimiento.

El modelo Seagram es el que menos impacto ambiental genera para el mantenimiento. Le siguen, en orden de menor impacto a mayor, el modelo Unité, Ensanche y JHC. Esto se debe a que el modelo Seagram, pese a tener más superficie de fachada que el Unité o el Ensanche, tiene menos extensión de cubierta, lo que hace que finalmente tenga menos repercusión ambiental en el mantenimiento del edificio.

3.2.5 ENERGÍA Y EMISIONES DE CO2 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 otros estudios ⁸ en los que sí se ha realizado este cálculo detallado y también en la base de datos "Metabase Banco Bedec" del ITeC (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya) y el programa TCQ 2000 para utilizarla.

*TABLA CON LA ENERGÍA Y EMISIONES DE CO2 DERIVADAS DE LA DEMOLICIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES:

Partida	Material	Energía MJ/m ²	Emisiones Kg CO ₂ /m ²
Relleno	Tierras de aportación	2.542,01 MJ/m ³	201,58 Kg CO ₂ /m ³
Demolición	Cimentación	506,50 MJ/m ³	124,25 Kg CO ₂ /m ³
	Volumen con estructura de acero	22,08 MJ/m ³	5,24 Kg CO ₂ /m ³
	Volumen con estructura de hormigón armado	72,30 MJ/m ³	18,89 Kg CO ₂ /m ³
	Cubierta invertida	2,92 MJ/m ²	0,76 Kg CO ₂ /m ²

En el capítulo 10, se puede consultar el anexo de cálculos con los resultados pormenorizados del impacto ambiental derivado de la demolición de los 5 tipos edificatorios según la casuística que hemos visto anteriormente. A continuación se refleja el resumen de los mismos:

⁸ Tesis Doctoral de Gerardo Wadel, *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. julio 2009.

CUADRO RESUMEN DE ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA DEMOLICIÓN DEL EDIFICIO:

	Tipo					
		1. J. H. Center	2. Seagram	3. Unité d'Habitation	4. Ensanche	5. Ciudad Dispersa
Energía (M.J.)	A. Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros					
	B. Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	13.961.469,65	9.584.178,36	13.968.926,16	18.156.597,60	62.800.237,92
	C. Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros					
	D. Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	23.579.604,05	19.202.312,76	23.587.060,56	27.774.732,00	72.418.372,32
Emisiones CO2 (Kg.)	A. Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros					
	B. Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	2.044.099,34	1.576.490,57	2.046.040,08	2.496.280,80	7.292.379,36
	C. Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros					
	D. Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	4.658.347,34	4.190.738,57	4.660.288,08	5.110.528,80	9.906.627,36

CONCLUSIONES:

1. Respecto a los tipos edificatorios: El modelo de ciudad dispersa, en lo que a demolición se refiere, es el que genera un impacto ambiental mayor, debido a la gran cantidad de superficie de cubierta y a la gran huella que genera en el terreno.

En este estudio, el factor más decisivo es la huella en el terreno, por lo que es lógico que el Ensanche, que es el segundo que más extensión en términos de ocupación en planta tiene sea el segundo que más contamina.

Los dos rascacielos son los que mejor responden en este estudio, ya que la concentración en planta es notable.

Como el Seagram tiene un volumen de cimentación menor que el del JHC y por tanto requiere menos tierras de relleno para dejarlo en su estado original una vez demolido, es el que menos impacto ambiental genera en la fase de demolición.

2. Respecto al tipo de estructura: Los edificios con estructura de hormigón armado generan un impacto ambiental mayor que los de acero.

3.2.6 SINTESIS DEL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS. CONCLUSIONES:

Este apartado es una síntesis de los anteriores. En él se van a sumar todas las fases del ciclo de vida de cada uno de los tipos edificatorios hasta completar el ACV.

Estudiaremos el comportamiento de cada edificio al cabo de **1 año, 25, 50 75 y 100 años de su vida útil**, aplicándole los valores obtenidos en todos los cuadros de cada tipo (Producción + Transporte + Construcción + Uso + Mantenimiento + Demolición), obteniendo así unas cifras totales que nos permitirán comparar las soluciones diversas de los tipos edificatorios que hemos propuesto para ver cuál de ellos es el más sostenible en cada momento del ciclo de vida del edificio.

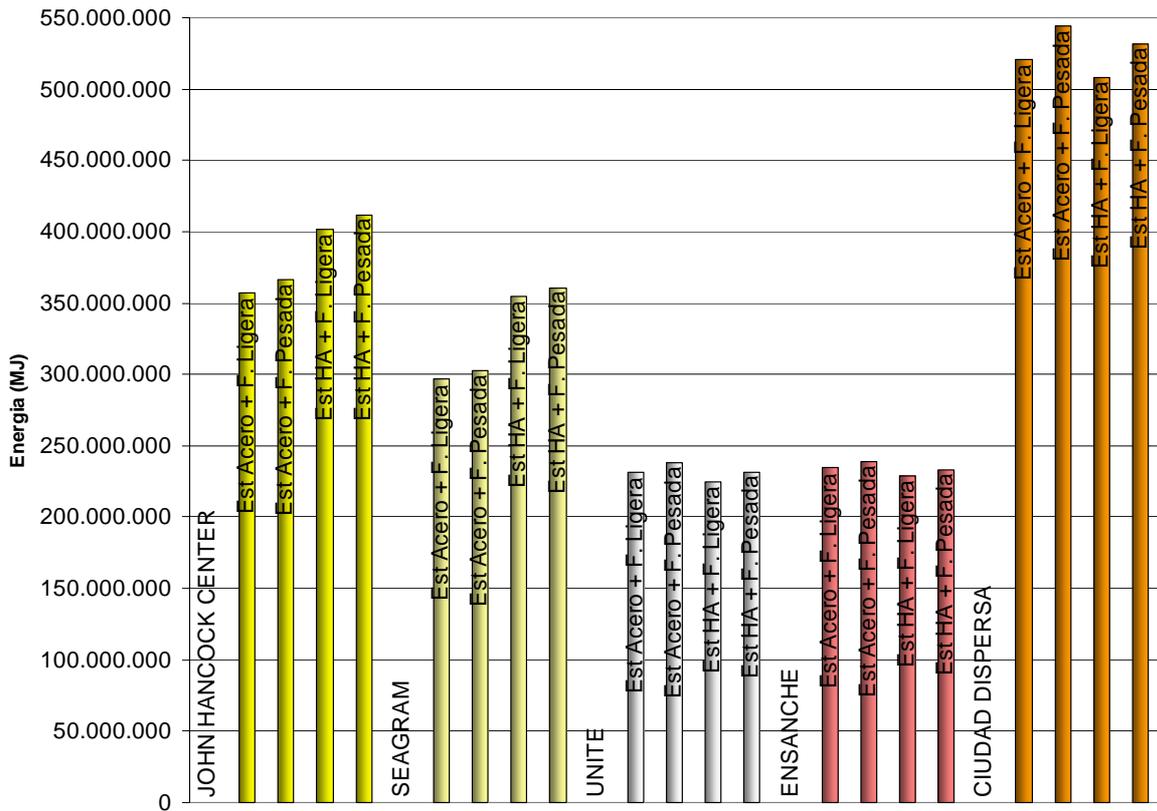
Por último, se redactarán las conclusiones más significativas del estudio del ACV de los 5 tipos edificatorios.

El impacto ambiental derivado de la demolición no se ha considerado en el caso del 1º año y de los 25 años, ya que es demasiado poco tiempo para demoler un edificio. De la misma forma, el mantenimiento no se toma en consideración hasta como mínimo 25 años de vida útil. Los valores que hemos obtenido son los siguientes:

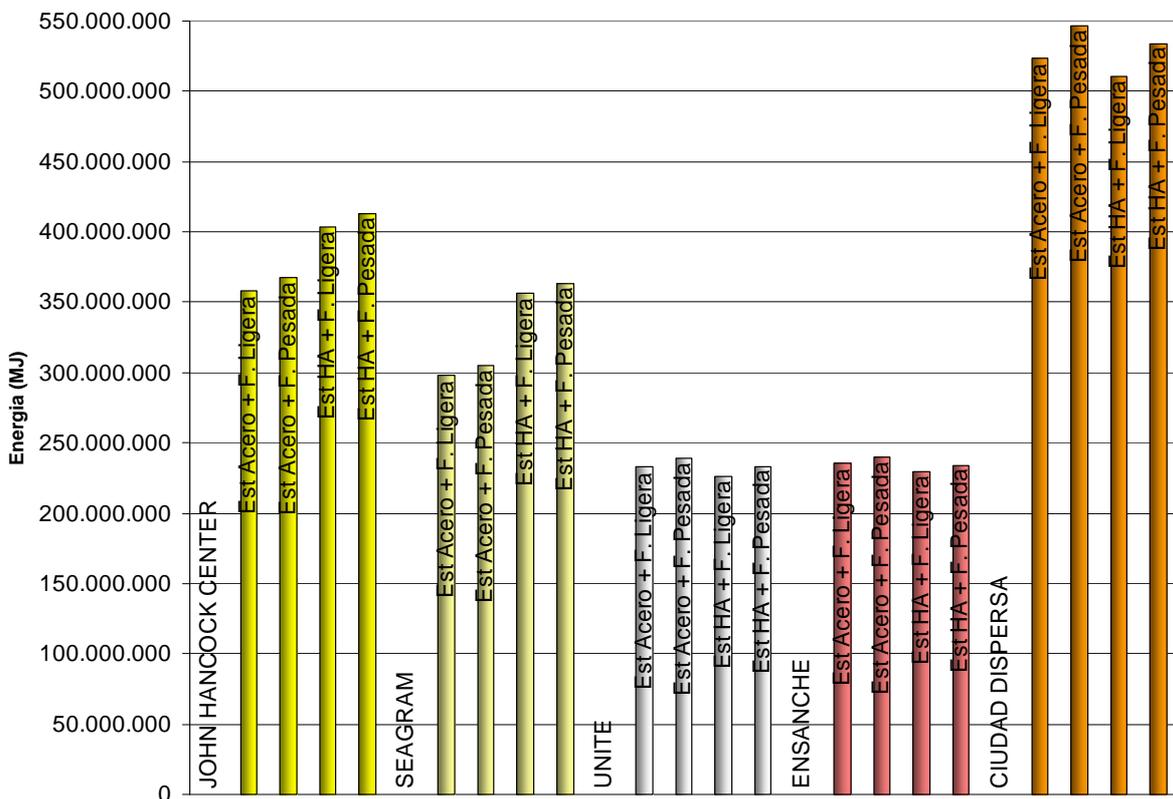
CUADRO RESUMEN DE ENERGIA Y EMISIONES DE CO2 EN EL ACV DE LOS 6 TIPOS EDIFICATORIOS - 1º AÑO - BARCELONA													
UNITE	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (1 año)			TOTAL
	Energía (tU)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tU)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tU)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tU)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tU)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tU)	Emisiones CO ₂ (kg)	
JOHN HANCOCK CENTER													
BARCELONA	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (1 año)			TOTAL
Estructura de Acero y Cerramiento	302 419 965,94	28 823 483,93	12 276 231,98	978 415 69	22 961 216,30	2 747 260,59	19 291 426,56	2 876 117,13	356 938 840,78	35 425 277,34			
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	309 456 475,47	29 696 669,53	13 173 241,51	1 049 907,56	24 628 234,13	2 947 999,53	19 263 847,68	2 881 372,44	366 520 798,79	36 575 938,95			
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	340 480 665,80	32 363 460,83	14 715 045,05	1 172 789,09	27 510 736,39	3 293 035,15	19 291 426,56	2 876 117,13	401 997 873,80	39 705 402,20			
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	347 516 175,33	33 236 636,43	15 612 054,58	1 244 280,75	29 187 754,22	3 493 774,18	19 263 847,68	2 881 372,44	411 579 831,81	40 856 063,80			
SEAGRAM													
BARCELONA	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (1 año)			TOTAL
Estructura de Acero y Cerramiento	247 444 340,81	24 079 463,86	10 738 161,24	865 831,45	20 075 692,75	2 403 060,42	18 374 428,80	2 692 053,00	296 632 623,60	30 030 408,73			
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	252 642 693,76	24 724 630,34	11 400 937,99	908 654,76	21 314 797,11	2 561 381,21	17 354 010,24	2 597 581,90	302 712 439,10	30 782 248,21			
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	298 273 959,31	28 645 623,04	13 305 241,78	1 060 427 777	24 875 017,24	2 977 639,56	18 374 428,80	2 692 053,00	354 828 647,13	35 375 643,37			
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	303 472 312,26	29 290 789,53	13 968 018,54	1 113 261 08	26 114 121,61	3 125 860,36	17 354 010,24	2 597 581,90	360 908 462,65	36 127 482,87			
UNITE													
BARCELONA	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (1 año)			TOTAL
Estructura de Acero y Cerramiento	186 151 441,34	18 831 591,22	10 250 959 17	817 001 45	19 164 836 70	2 294 030 95	17 057 537 28	2 491 294 08	231 624 774 49	24 433 917 70			
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	189 801 378 20	19 408 693 90	10 843 814 27	864 262 00	20 273 217 98	2 426 704 19	17 043 747 84	2 494 773 99	237 962 158 29	25 194 424 08			
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	177 728 219 29	18 105 419 02	10 566 644 23	842 320 96	19 758 166 65	2 365 124 73	17 057 537 28	2 491 294 08	225 113 170 45	23 804 158 78			
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	182 378 156 15	18 662 521 70	11 161 499 33	889 571 50	20 867 150 93	2 497 797 97	17 043 747 84	2 494 773 99	231 450 554 25	24 564 665 16			
ENSANICHE													
BARCELONA	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (1 año)			TOTAL
Estructura de Acero y Cerramiento	186 418 279 14	19 560 187 73	11 042 440 49	880 082 51	20 644 562 66	2 471 154 15	17 285 063 04	2 561 913 99	234 390 345 33	25 463 338 38			
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	188 715 847 20	19 969 448 21	11 462 872 02	913 590 90	21 430 586 82	2 565 241 24	17 278 168 32	2 554 080 08	238 887 474 36	26 002 360 43			
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	178 905 912 74	18 923 119 66	11 321 157 25	902 296 23	21 166 641 81	2 533 527 33	17 285 063 04	2 561 913 99	228 677 774 84	24 910 857 21			
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	182 203 480 80	19 332 380 14	11 241 588 77	935 804 63	21 951 665 97	2 627 614 42	17 278 168 32	2 554 080 08	233 174 903 86	25 449 879 27			
CIUDAD DISPERSA													
BARCELONA	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (1 año)			TOTAL
Estructura de Acero y Cerramiento	436 724 916 34	44 882 516 20	20 631 358 49	1 644 319 27	38 571 670 21	4 617 028 92	25 462 200 96	3 869 026 49	520 390 146 00	55 002 890 88			
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	452 911 702 29	47 015 564 57	22 822 629 90	1 818 963 60	42 668 396 03	5 107 406 88	25 400 148 48	3 870 860 94	543 802 875 70	57 812 785 99			
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	421 517 143 08	43 492 649 62	21 239 408 76	1 692 780 88	39 708 459 86	4 753 102 66	25 462 200 96	3 869 026 49	507 927 212 66	53 797 559 64			
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	438 703 929 03	45 626 697 98	23 430 680 17	1 867 425 21	43 805 184 67	5 243 480 61	25 400 148 48	3 870 860 94	531 339 942 35	56 607 454 74			

CUADRO RESUMEN DE ENERGIA Y EMISIONES DE CO2 EN EL ACV DE LOS 6 TIPOS EDIFICATORIOS - 1º AÑO - MADRID												
JOHN HANCOCK CENTER			TRANSPORTE			CONSTRUCCIÓN			USO (1 año)			TOTAL
MADRID	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Producción	302 419 965,94	28 823 483,93	12 276 231,98	978 415,69	22 961 216,30	2 747 260,59	20 573 844,48	2 816 686,56	358 221 258,70	35 365 846,77		
Cerramiento												
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	302 419 965,94	28 823 483,93	12 276 231,98	978 415,69	22 961 216,30	2 747 260,59	20 573 844,48	2 816 686,56	358 221 258,70	35 365 846,77		
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	309 455 475,47	29 696 669,53	13 173 241,51	1 049 907,56	24 628 234,13	2 947 999,53	20 525 581,44	2 823 326,55	367 782 532,55	36 517 893,06		
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	340 480 665,80	32 363 460,83	14 715 045,05	1 172 789,09	27 510 736,39	3 293 035,15	20 573 844,48	2 816 686,56	403 280 291,72	39 645 971,63		
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	347 516 175,33	33 236 636,43	15 612 054,58	1 244 280,75	29 187 754,22	3 493 774,18	20 525 581,44	2 823 326,55	412 841 565,57	40 798 017,91		
SEAGRAM												
PRODUCCIÓN			TRANSPORTE			CONSTRUCCIÓN			USO (1 año)			TOTAL
MADRID	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Producción	247 444 340,81	24 079 463,86	10 738 161,24	865 831,45	20 075 692,75	2 403 060,42	19 656 846,72	2 659 894,88	297 915 041,52	29 998 250,61		
Cerramiento												
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	247 444 340,81	24 079 463,86	10 738 161,24	865 831,45	20 075 692,75	2 403 060,42	19 656 846,72	2 659 894,88	297 915 041,52	29 998 250,61		
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	252 642 693,76	24 724 630,34	11 400 937,99	908 654,76	21 314 797,11	2 551 381,21	19 608 583,68	2 662 273,56	304 967 012,54	30 846 939,87		
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	298 273 959,31	28 645 623,04	13 305 241,78	1 060 427 777	24 875 017 24	2 977 539 56	19 656 846 72	2 659 894 88	356 111 065 05	35 343 485 25		
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	303 472 312 26	29 290 789 53	13 968 018 54	1 113 251 08	26 114 121 61	3 125 860 36	19 608 583 68	2 662 273 56	363 163 036 09	36 192 174 53		
UNITE												
PRODUCCIÓN			TRANSPORTE			CONSTRUCCIÓN			USO (1 año)			TOTAL
MADRID	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Producción	185 151 441,34	18 831 591,22	10 250 959 17	817 001 45	19 164 836 70	2 294 030 95	18 422 691 84	2 480 017 38	232 989 929 05	24 422 641 00		
Cerramiento												
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	185 151 441,34	18 831 591,22	10 250 959 17	817 001 45	19 164 836 70	2 294 030 95	18 422 691 84	2 480 017 38	232 989 929 05	24 422 641 00		
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	189 801 378 20	19 408 693 90	10 843 814 27	864 252 00	20 273 217 98	2 426 704 19	18 388 218 24	2 483 177 46	239 306 628 69	25 182 827 55		
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	177 728 219 29	18 105 419 02	10 566 544 23	842 320 95	19 758 766 65	2 365 124 73	18 422 691 84	2 480 017 38	226 478 325 01	23 792 882 08		
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	182 378 156 15	18 662 521 70	11 161 499 33	889 571 50	20 867 150 93	2 497 797 97	18 388 218 24	2 483 177 46	232 795 024 65	24 553 068 63		
NSANICHE												
PRODUCCIÓN			TRANSPORTE			CONSTRUCCIÓN			USO (1 año)			TOTAL
MADRID	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Producción	185 418 279,14	19 560 187 73	11 042 440 49	880 082 51	20 644 562 66	2 471 154 15	18 415 797 12	2 523 944 40	235 521 079 41	25 435 368 79		
Cerramiento												
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	185 418 279,14	19 560 187 73	11 042 440 49	880 082 51	20 644 562 66	2 471 154 15	18 415 797 12	2 523 944 40	235 521 079 41	25 435 368 79		
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	188 745 847 20	19 969 448 21	11 462 872 02	913 590 90	21 430 586 82	2 565 241 24	18 388 218 24	2 524 938 39	239 997 524 28	25 973 218 74		
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	178 905 912 74	18 923 119 66	11 321 157 25	902 296 23	21 166 641 81	2 533 527 33	18 415 797 12	2 523 944 40	229 808 508 92	24 882 887 62		
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	182 203 480 80	19 332 380 14	11 741 588 77	935 804 63	21 951 665 97	2 627 614 42	18 388 218 24	2 524 938 39	234 284 953 78	25 420 737 58		
CIUDAD DISPESA												
PRODUCCIÓN			TRANSPORTE			CONSTRUCCIÓN			USO (1 año)			TOTAL
MADRID	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (tUJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Producción	436 724 916 34	44 882 516 20	20 631 358 49	1 644 319 27	38 571 670 21	4 617 028 92	28 268 352 00	3 867 190 99	523 196 297 04	55 011 055 38		
Cerramiento												
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	436 724 916 34	44 882 516 20	20 631 358 49	1 644 319 27	38 571 670 21	4 617 028 92	28 268 352 00	3 867 190 99	523 196 297 04	55 011 055 38		
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	452 911 702 29	47 015 564 57	22 822 629 90	1 818 963 60	42 668 396 03	5 107 406 88	28 061 510 40	3 869 106 19	546 464 237 62	57 811 041 24		
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	421 517 143 08	43 492 649 62	21 239 408 76	1 692 780 88	39 708 459 86	4 753 102 65	28 268 352 00	3 867 190 99	510 733 363 70	53 805 724 14		
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	438 703 929 03	45 626 697 98	23 430 680 17	1 867 425 21	43 805 184 67	5 243 480 61	28 061 510 40	3 869 106 19	534 001 304 27	56 605 709 99		

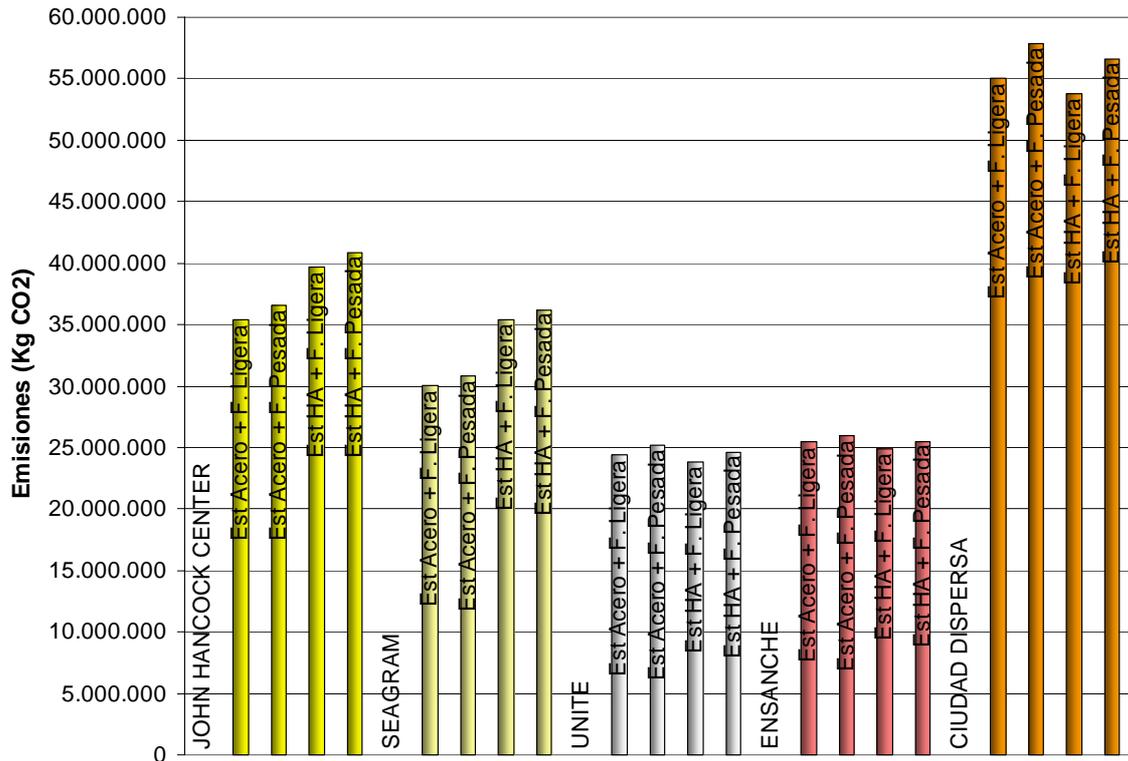
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 1 AÑO- BARCELONA



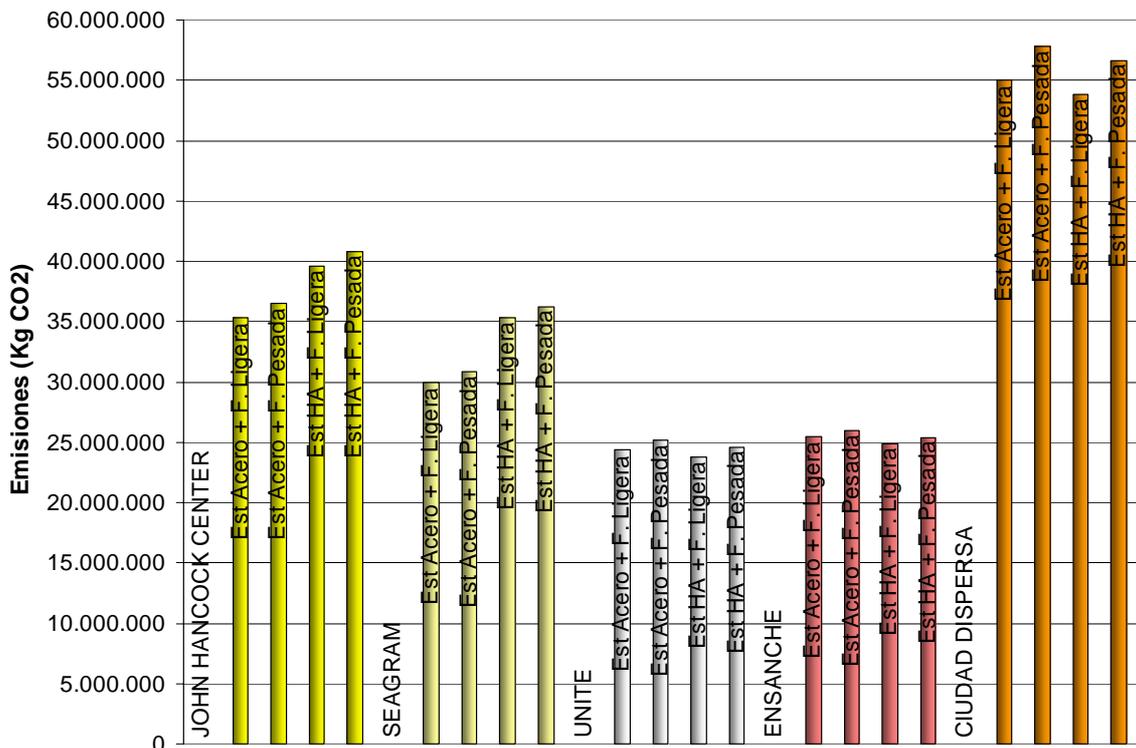
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 1 AÑO- MADRID



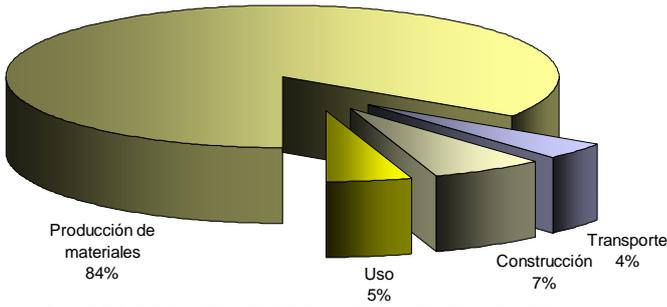
CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 1 AÑO- BARCELONA



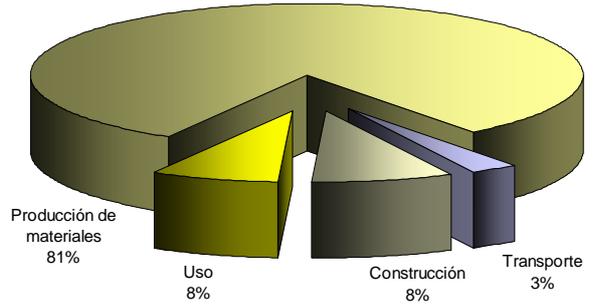
CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 1 AÑO- MADRID



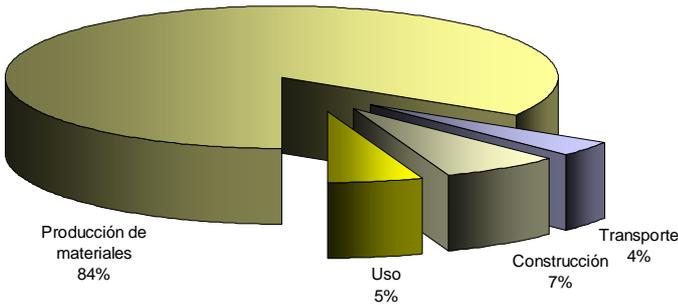
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL JOHN HANCOCK CENTER - 1 AÑO- BARCELONA



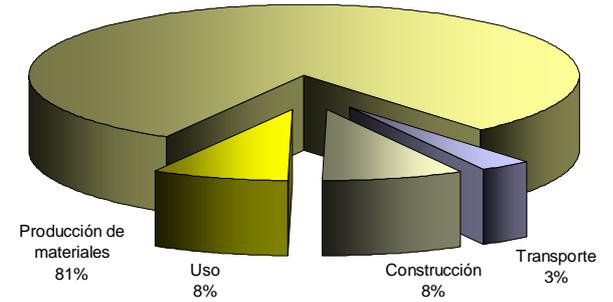
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL JOHN HANCOCK CENTER - 1 AÑO- BARCELONA



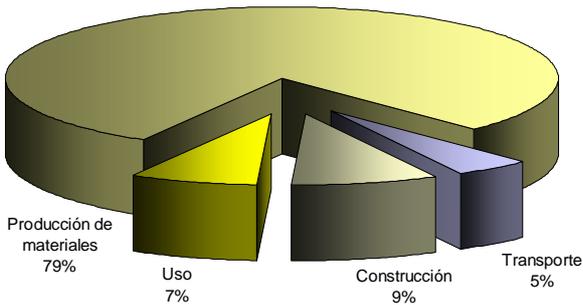
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL SEAGRAM - 1 AÑO- BARCELONA



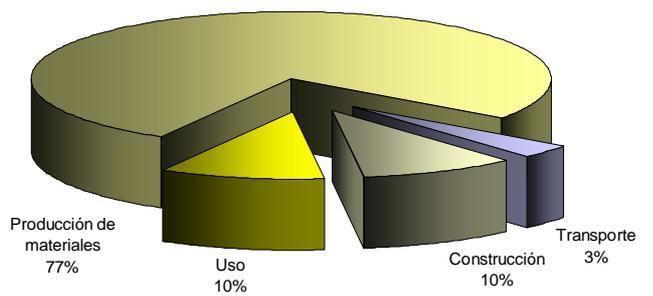
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL SEAGRAM - 1 AÑO- BARCELONA



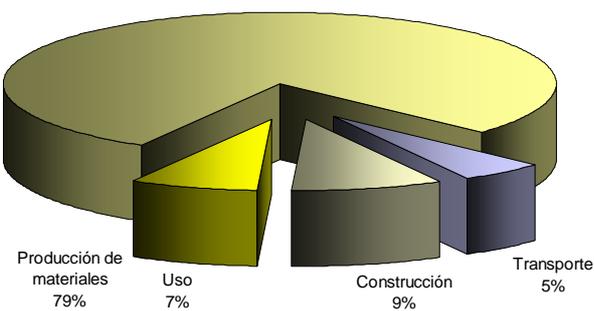
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DE LA UNITE D'HABITATION- 1 AÑO- BARCELONA



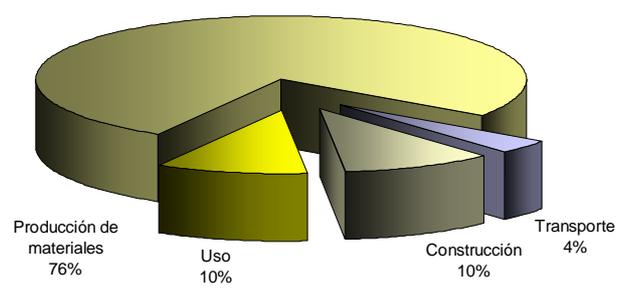
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DE LA UNITE D'HABITATION - 1 AÑO- BARCELONA



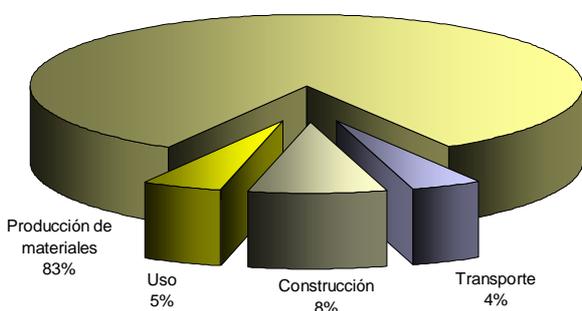
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL ENSANCHE- 1 AÑO- BARCELONA



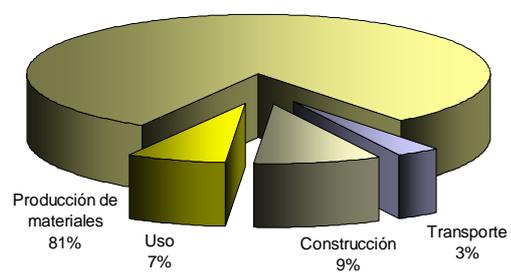
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL ENSANCHE - 1 AÑO- BARCELONA



CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DE LA CIUDAD DISPERSA- 1 AÑO- BARCELONA



CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DE LA CIUDAD DISPERSA - 1 AÑO- BARCELONA



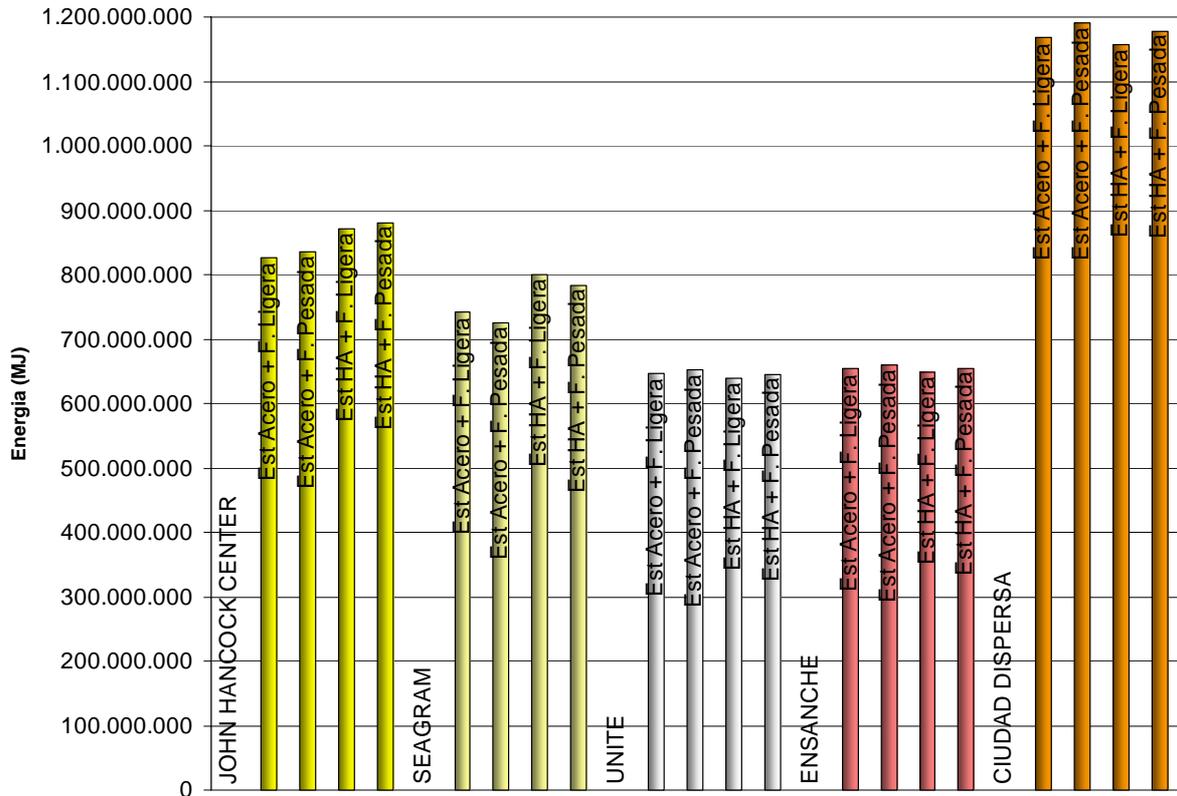
CUADRO RESUMEN DE ENERGIA Y EMISIONES DE CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 25 AÑOS - BARCELONA

UNITE	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (25 años)			MANTENIMIENTO			TOTAL		
	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)				
JOHN HANCOCK CENTER																		
BARCELONA																		
Cerramiento																		
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	302.419.965,94	28.823.483,93	12.276.231,98	978.415,69	22.951.216,30	2.747.260,59	482.285.664,00	71.902.928,25	6.597.830,99	475.462,17	826.530.909,21	104.927.550,63						
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	309.455.475,47	29.696.659,53	13.173.241,51	1.049.907,36	24.628.234,13	2.947.999,63	481.596.192,00	72.034.311,00	6.597.830,99	475.462,17	835.450.974,10	106.204.339,68						
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	340.480.665,80	32.363.460,83	14.715.045,05	1.172.789,09	27.510.736,39	3.293.035,15	482.285.664,00	71.902.928,25	6.597.830,99	475.462,17	871.589.942,23	109.207.675,49						
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	347.516.175,33	33.236.636,43	15.612.054,58	1.244.280,75	29.187.754,22	3.493.774,18	481.596.192,00	72.034.311,00	6.597.830,99	475.462,17	880.510.007,12	110.484.464,53						
SEAGRAN																		
BARCELONA																		
Cerramiento																		
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	247.444.340,81	24.079.463,86	10.738.161,24	865.831,45	20.075.692,75	2.403.060,42	459.360.720,00	67.301.325,00	5.092.838,61	382.760,54	742.711.753,41	95.022.441,27						
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	252.642.693,76	24.724.630,34	11.400.937,99	908.654,76	21.314.797,11	2.551.381,21	433.850.256,00	64.939.547,50	5.092.838,61	382.760,54	724.301.523,47	93.506.974,35						
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	298.273.959,31	28.645.623,04	13.305.241,78	1.060.427,77	24.875.017,24	2.977.539,56	459.360.720,00	67.301.325,00	5.092.838,61	382.760,54	800.907.776,94	100.367.675,91						
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	303.472.312,26	29.290.789,53	13.968.018,54	1.113.251,08	26.114.121,61	3.125.860,36	433.850.256,00	64.939.547,50	5.092.838,61	382.760,54	782.497.547,02	98.852.209,01						
UNITE																		
PRODUCCION																		
TRANSPORTE																		
CONSTRUCCION																		
USO (25 años)																		
MANTENIMIENTO																		
TOTAL																		
BARCELONA																		
Cerramiento																		
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	185.151.441,34	18.831.591,22	10.250.959,17	817.001,45	19.164.836,70	2.294.030,95	426.438.432,00	62.282.352,00	5.204.657,82	436.477,41	646.210.327,03	84.661.453,03						
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	189.801.378,20	19.408.693,90	10.843.814,27	864.252,00	20.273.217,98	2.426.704,19	426.093.696,00	62.369.349,75	5.204.657,82	436.477,41	652.216.764,27	85.505.477,25						
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	177.728.219,29	18.105.419,02	10.568.644,23	842.320,96	19.758.769,66	2.366.124,73	426.438.432,00	62.282.352,00	5.204.657,82	436.477,41	639.698.722,99	84.031.694,11						
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	182.378.156,15	18.682.521,70	11.161.499,33	889.571,50	20.867.150,93	2.497.797,97	426.093.696,00	62.369.349,75	5.204.657,82	436.477,41	645.705.160,23	84.875.718,33						
ENSANCHE																		
PRODUCCION																		
TRANSPORTE																		
CONSTRUCCION																		
USO (25 años)																		
MANTENIMIENTO																		
TOTAL																		
BARCELONA																		
Cerramiento																		
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	185.418.279,14	19.560.187,73	11.042.440,49	880.082,51	20.644.562,66	2.471.154,15	432.126.576,00	63.797.849,75	5.868.491,19	618.263,45	655.100.349,48	87.327.537,59						
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	188.715.847,20	19.969.448,21	11.462.872,02	913.590,90	21.430.586,82	2.565.241,24	431.954.208,00	63.852.002,00	5.868.491,19	618.263,45	659.432.005,23	87.918.545,80						
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	178.905.912,74	18.923.119,66	11.321.157,25	902.296,23	21.165.641,81	2.533.527,33	432.126.576,00	63.797.849,75	5.868.491,19	618.263,45	649.387.778,99	86.775.056,42						
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	182.203.480,80	19.332.380,14	11.741.588,77	935.804,63	21.951.665,97	2.627.614,42	431.954.208,00	63.852.002,00	5.868.491,19	618.263,45	653.719.434,73	87.366.064,64						
CIUDAD DISPENSA																		
PRODUCCION																		
TRANSPORTE																		
CONSTRUCCION																		
USO (25 años)																		
MANTENIMIENTO																		
TOTAL																		
BARCELONA																		
Cerramiento																		
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	435.724.916,34	44.882.516,20	20.631.358,49	1.644.319,27	38.571.670,21	4.617.028,92	636.555.024,00	96.475.662,25	37.289.865,77	4.063.130,88	1.168.772.834,81	151.682.657,52						
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	452.911.702,29	47.015.564,57	22.822.629,90	1.818.963,60	42.668.395,03	5.107.406,88	636.003.712,00	96.771.273,50	37.289.865,77	4.063.130,88	1.190.696.304,99	154.776.339,43						
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	421.517.143,08	43.492.649,62	21.239.408,76	1.692.780,88	39.708.459,86	4.753.102,65	636.555.024,00	96.475.662,25	37.289.865,77	4.063.130,88	1.156.309.904,47	150.477.326,28						
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	438.703.929,03	45.625.697,98	23.430.680,17	1.867.425,21	43.805.184,67	5.243.480,61	636.003.712,00	96.771.273,50	37.289.865,77	4.063.130,88	1.178.233.371,64	153.571.008,18						

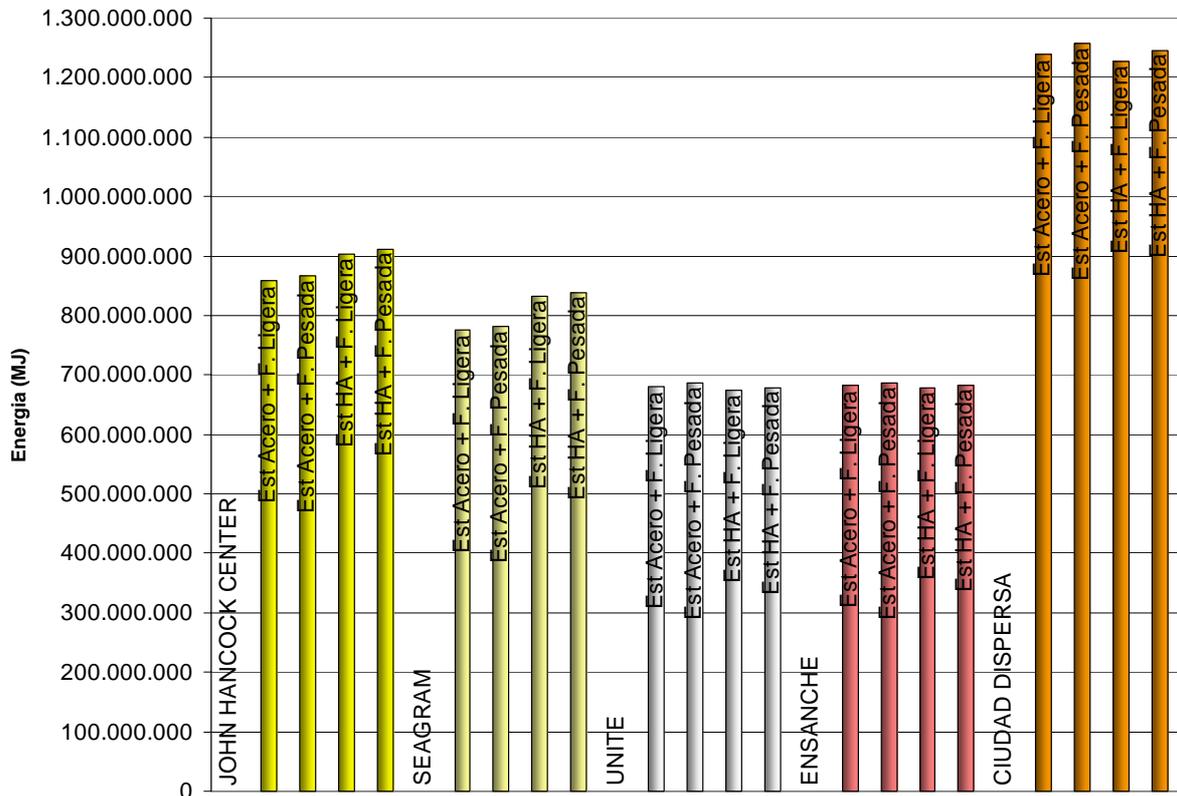
CUADRO RESUMEN DE ENERGIA Y EMISIONES DE CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 25 AÑOS - MADRID

UNITE	PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (25 años)		MANTENIMIENTO		TOTAL	
	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)		
JOHN HANCOCK CENTER												
MADRID	PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (25 años)		MANTENIMIENTO		TOTAL	
Cerramiento	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	302.419.965,94	28.823.483,93	12.276.231,98	978.415,69	22.951.216,30	2.747.260,59	514.346.112,00	70.417.164,00	6.597.830,99	475.462,17	858.591.357,21	103.441.786,38
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	309.455.475,47	29.696.659,53	13.173.241,51	1.049.907,36	24.628.224,13	2.947.999,63	513.139.536,00	70.583.163,75	6.597.830,99	475.462,17	866.994.378,10	104.753.192,43
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	340.480.665,80	32.363.460,83	14.715.045,05	1.172.789,09	27.510.736,99	3.293.035,15	514.346.112,00	70.417.164,00	6.597.830,99	475.462,17	903.650.390,23	107.721.911,24
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	347.516.175,33	33.236.636,43	15.612.054,58	1.244.280,75	29.187.754,22	3.493.774,18	513.139.536,00	70.583.163,75	6.597.830,99	475.462,17	912.053.351,12	109.033.317,28
SEAGRAN												
MADRID	PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (25 años)		MANTENIMIENTO		TOTAL	
Cerramiento	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	247.444.340,81	24.079.463,86	10.738.161,24	865.831,45	20.075.692,75	2.403.060,42	491.421.168,00	66.497.372,00	5.092.838,61	382.760,54	774.772.201,41	94.218.488,27
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	252.642.693,76	24.724.630,34	11.400.937,99	908.654,76	21.314.797,11	2.551.381,21	490.214.592,00	66.556.839,00	5.092.838,61	382.760,54	780.665.859,47	95.124.265,85
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	298.273.959,31	28.645.623,04	13.305.241,78	1.060.427,77	24.875.017,24	2.977.539,56	491.421.168,00	66.497.372,00	5.092.838,61	382.760,54	832.968.224,94	99.563.722,91
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	303.472.312,26	29.290.789,53	13.968.018,54	1.113.251,08	26.114.121,61	3.125.860,36	490.214.592,00	66.556.839,00	5.092.838,61	382.760,54	838.861.883,02	100.469.500,51
UNITE												
MADRID	PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (25 años)		MANTENIMIENTO		TOTAL	
Cerramiento	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	185.151.441,34	18.831.591,22	10.250.959,17	817.001,45	19.164.836,70	2.294.030,95	460.567.296,00	62.000.434,50	5.204.657,82	436.477,41	680.339.191,03	84.379.535,53
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	189.801.378,20	19.408.693,90	10.843.814,27	864.252,00	20.273.217,98	2.426.704,19	459.705.456,00	62.079.436,50	5.204.657,82	436.477,41	685.828.524,27	85.215.564,00
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	177.728.219,29	18.105.419,02	10.568.644,23	842.320,96	19.758.769,66	2.366.124,73	460.567.296,00	62.000.434,50	5.204.657,82	436.477,41	673.827.586,99	83.749.776,61
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	182.378.156,15	18.682.521,70	11.161.499,33	889.571,50	20.867.150,93	2.497.797,97	459.705.456,00	62.079.436,50	5.204.657,82	436.477,41	679.316.920,23	84.585.805,08
ENSANCHE												
MADRID	PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (25 años)		MANTENIMIENTO		TOTAL	
Cerramiento	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	185.418.279,14	19.560.187,73	11.042.440,49	880.082,51	20.644.562,66	2.471.154,15	460.394.928,00	63.098.610,00	5.868.491,19	618.263,45	683.368.701,48	86.628.297,84
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	188.715.847,20	19.969.448,21	11.462.872,02	913.590,90	21.430.586,82	2.565.241,24	459.705.456,00	63.123.459,75	5.868.491,19	618.263,45	687.183.253,23	87.190.003,55
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	178.905.912,74	18.923.119,66	11.321.157,25	902.296,23	21.165.641,81	2.533.527,33	460.394.928,00	63.098.610,00	5.868.491,19	618.263,45	677.656.130,99	86.075.816,67
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	182.203.480,80	19.332.380,14	11.741.588,77	935.804,63	21.951.665,97	2.627.614,42	459.705.456,00	63.123.459,75	5.868.491,19	618.263,45	681.470.682,73	86.637.522,39
CIUDAD DISPENSA												
MADRID	PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (25 años)		MANTENIMIENTO		TOTAL	
Cerramiento	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	435.724.916,34	44.882.516,20	20.631.358,49	1.644.319,27	38.571.670,21	4.617.028,92	706.708.800,00	96.679.774,75	37.289.865,77	4.063.130,88	1.238.926.610,81	151.886.770,02
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	452.911.702,29	47.015.564,57	22.822.629,90	1.818.963,60	42.668.395,03	5.107.406,88	701.537.760,00	96.727.654,75	37.289.865,77	4.063.130,88	1.257.230.352,99	154.732.720,88
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	421.517.143,08	43.492.649,62	21.239.408,76	1.692.780,88	39.708.459,86	4.753.102,65	706.708.800,00	96.679.774,75	37.289.865,77	4.063.130,88	1.226.463.677,47	150.681.438,78
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	438.703.929,03	45.625.697,98	23.430.680,17	1.867.425,21	43.805.184,67	5.243.480,61	701.537.760,00	96.727.654,75	37.289.865,77	4.063.130,88	1.244.767.419,64	153.527.389,43

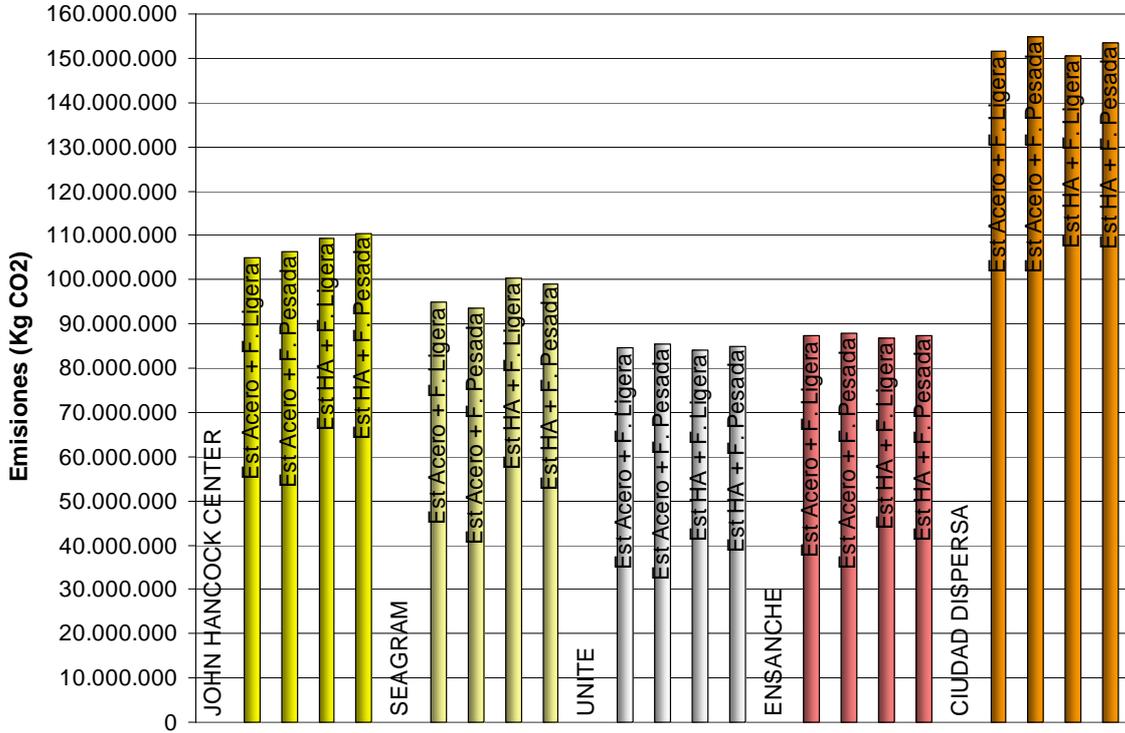
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 25 AÑOS- BARCELONA



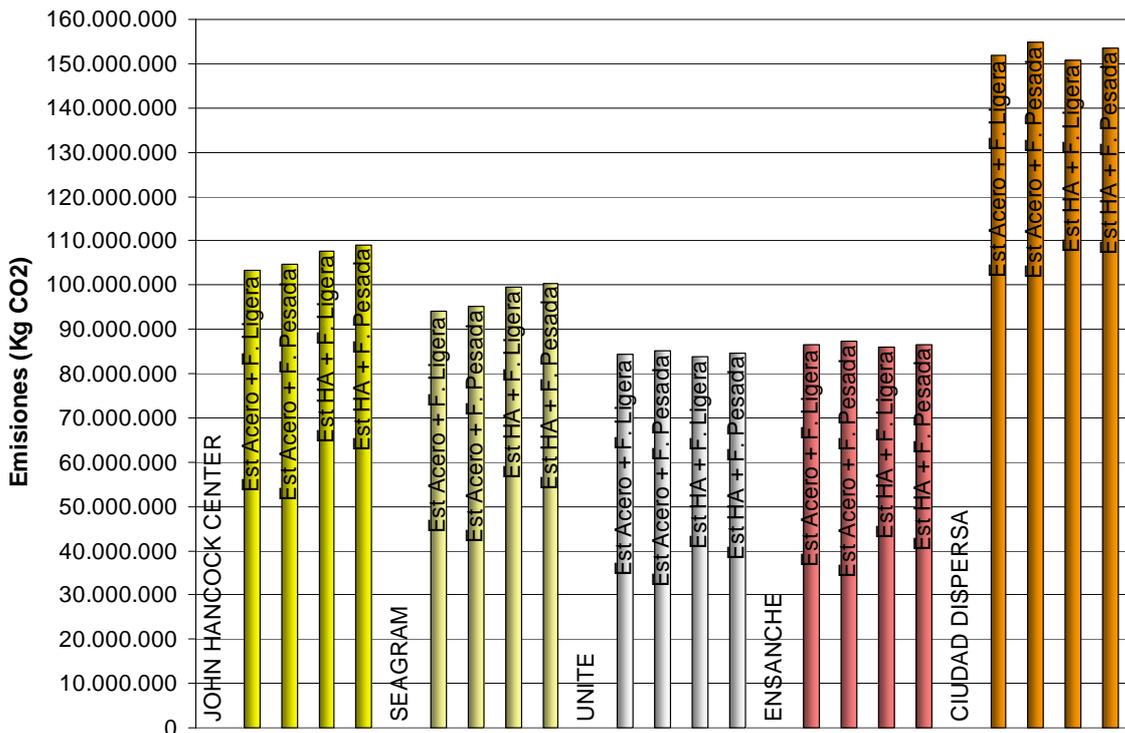
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 25 AÑOS- MADRID



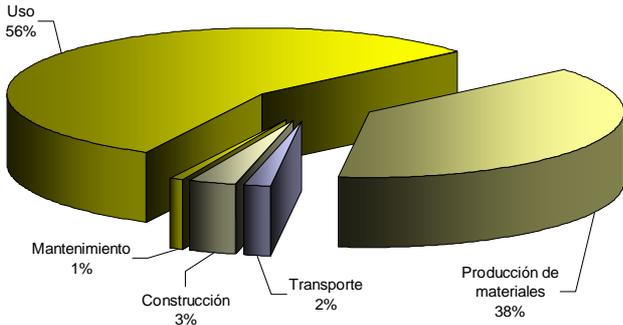
CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 25 AÑOS- BARCELONA



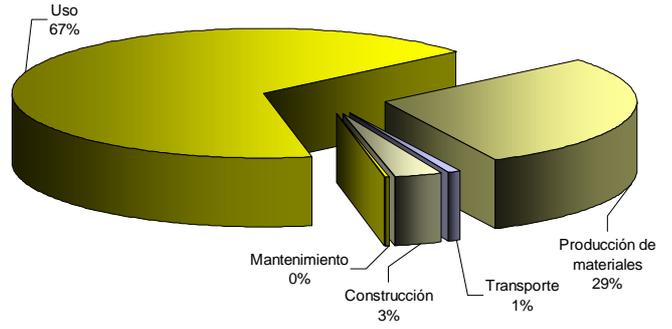
CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 25 AÑOS- MADRID



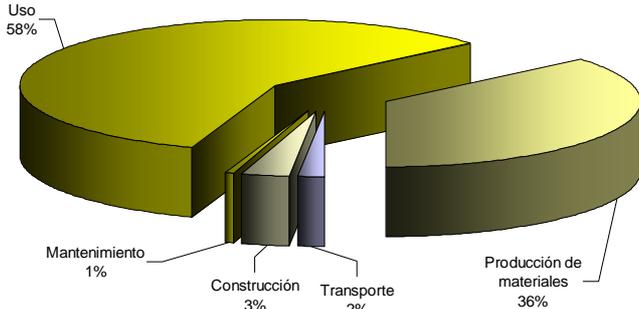
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL JOHN HANCOCK CENTER - 25 AÑOS- BARCELONA



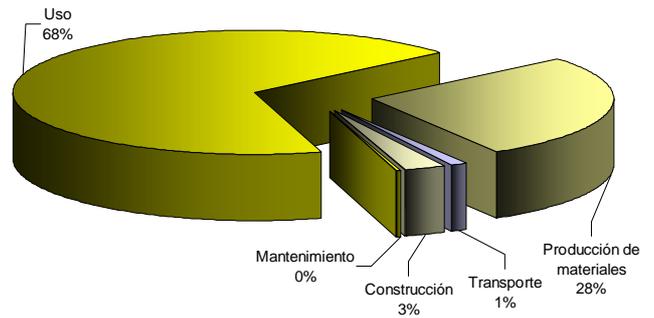
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL JOHN HANCOCK CENTER - 25 AÑOS- BARCELONA



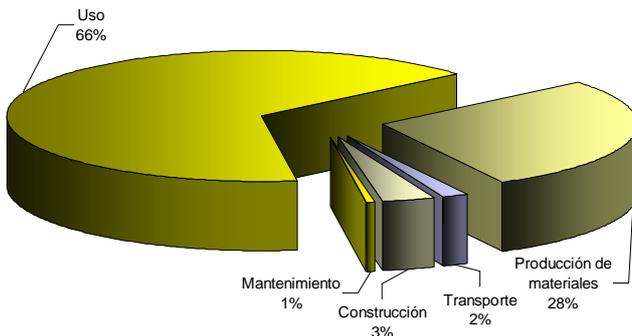
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL SEAGRAM - 25 AÑOS- BARCELONA



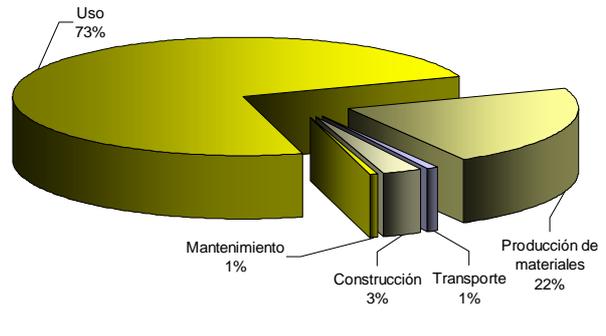
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL SEAGRAM - 25 AÑOS- BARCELONA



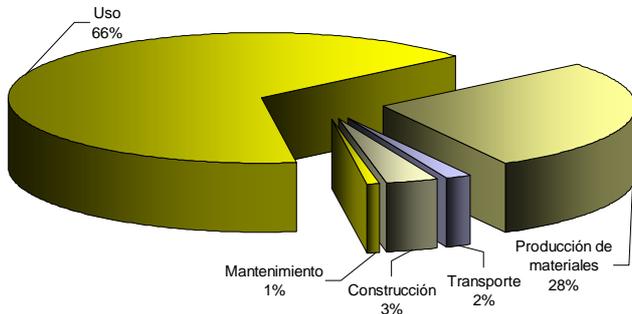
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DE LA UNITE - 25 AÑOS- BARCELONA



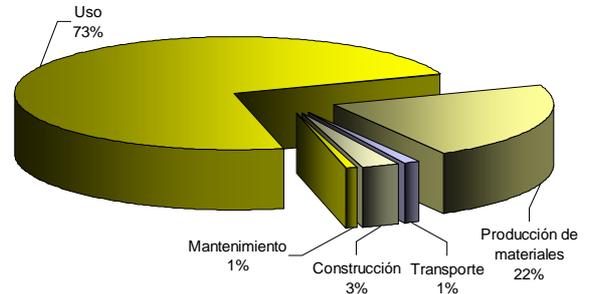
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DE LA UNITE - 25 AÑOS- BARCELONA



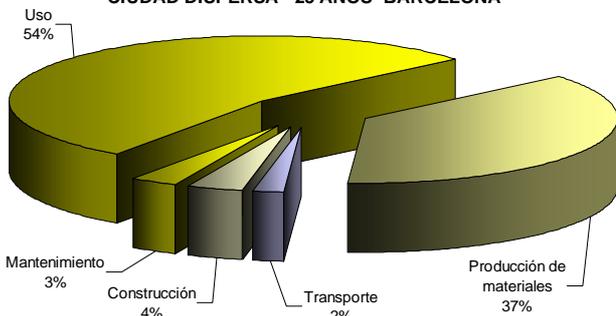
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL ENSANCHE - 25 AÑOS- BARCELONA



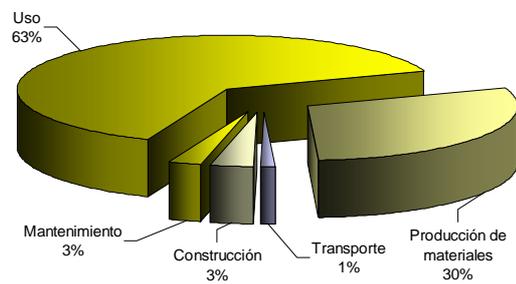
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL ENSANCHE - 25 AÑOS- BARCELONA



CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DE LA CIUDAD DISPERSA - 25 AÑOS- BARCELONA



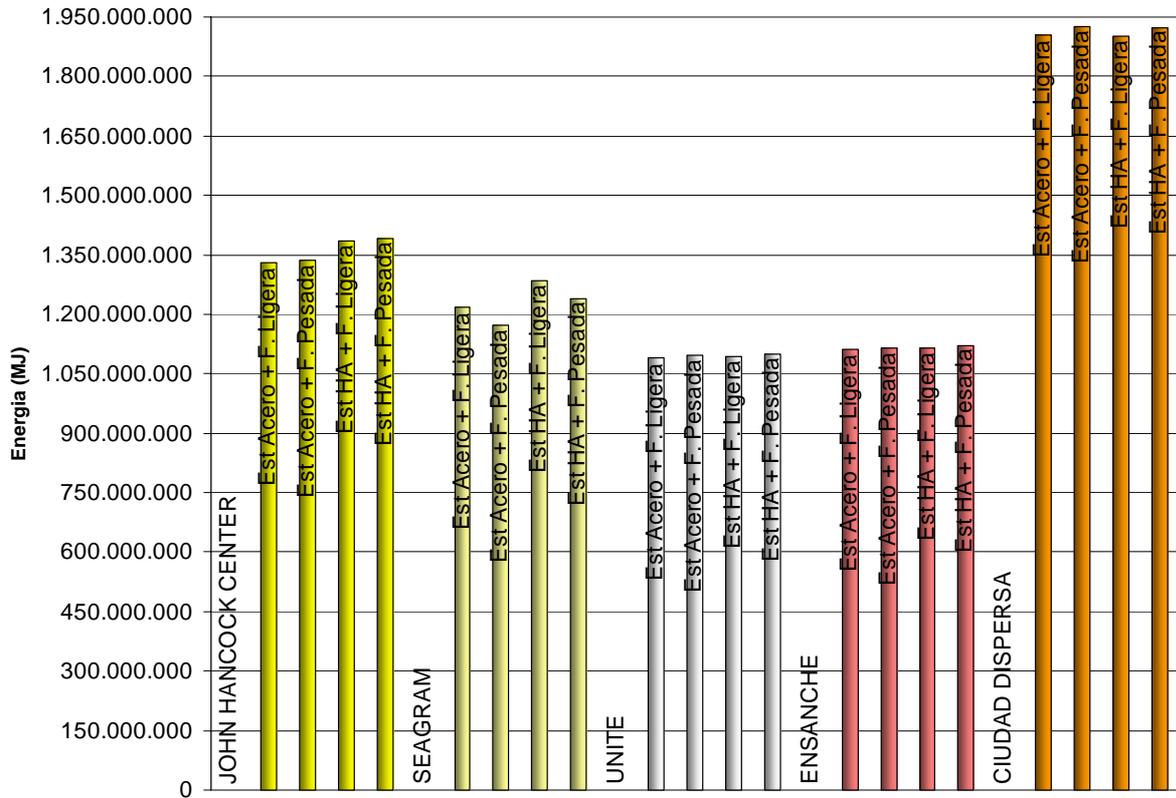
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DE LA CIUDAD DISPERSA - 25 AÑOS- BARCELONA



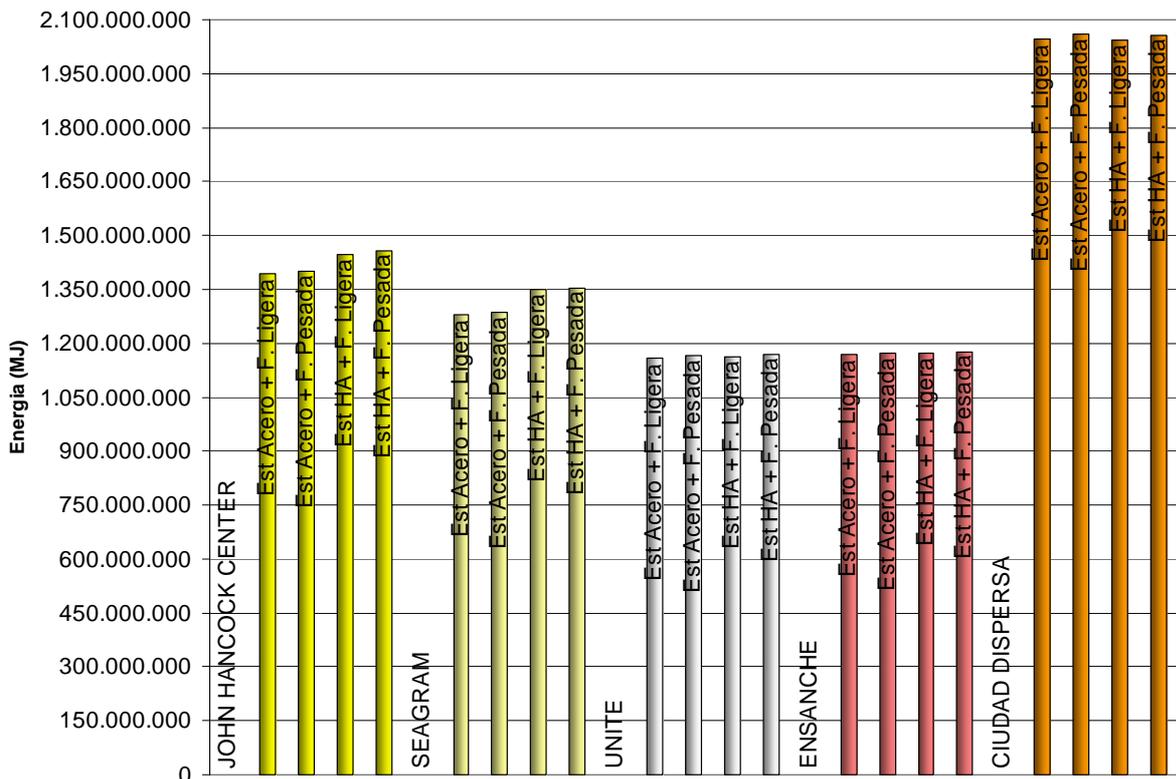
CUADRO RESUMEN DE ENERGIA Y EMISIONES DE CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 50 AÑOS - BARCELONA																
JOHN HANCOCK CENTER		PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (50 años)		MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL		
BarCELONA	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
BarCELONA	302.419.965,94	28.823.483,93	12.276.231,98	978.415,69	22.951.216,30	2.747.280,59	964.571.328,00	143.805.656,50	13.195.661,98	960.924,34	13.961.469,65	2.044.099,34	1.329.375.873,88	179.350.040,39		
BarCELONA	309.456.475,47	29.696.659,53	13.173.241,51	1.049.907,36	24.628.234,13	2.947.999,63	963.192.384,00	144.068.622,00	13.195.661,98	960.924,34	13.961.469,65	2.044.099,34	1.337.606.466,74	180.758.212,19		
BarCELONA	340.480.665,80	32.363.460,83	14.715.045,05	1.172.789,09	27.510.736,39	3.293.035,15	964.571.328,00	143.805.656,50	13.195.661,98	960.924,34	23.579.604,05	4.658.347,34	1.384.053.041,27	186.244.413,25		
BarCELONA	347.516.175,33	33.236.636,43	15.612.054,58	1.244.280,75	29.187.754,22	3.493.774,18	963.192.384,00	144.068.622,00	13.195.661,98	960.924,34	23.579.604,05	4.658.347,34	1.392.283.634,16	187.652.585,04		
SEAGRAM													TOTAL			
BarCELONA	247.444.340,81	24.079.453,86	10.738.161,24	855.831,45	20.075.692,75	2.403.060,42	918.721.440,00	134.602.650,00	10.185.677,22	765.521,08	9.584.178,36	1.576.490,57	1.216.749.490,38	164.283.017,38		
BarCELONA	252.642.693,76	24.724.630,34	11.400.937,99	908.654,78	21.314.797,11	2.551.381,21	867.700.512,00	129.879.095,00	10.185.677,22	765.521,08	9.584.178,36	1.576.490,57	1.172.828.796,44	160.405.772,96		
BarCELONA	298.273.959,31	28.645.623,04	13.305.241,78	1.060.427,77	24.875.017,24	2.977.539,56	918.721.440,00	134.602.650,00	10.185.677,22	765.521,08	19.202.312,76	4.190.738,57	1.284.563.648,31	172.242.500,02		
BarCELONA	303.472.312,26	29.290.789,53	13.968.018,54	1.113.251,08	26.114.121,61	3.125.860,36	867.700.512,00	129.879.095,00	10.185.677,22	765.521,08	19.202.312,76	4.190.738,57	1.240.642.954,39	168.365.255,62		
UNITE													TOTAL			
BarCELONA	185.151.441,34	18.831.591,22	10.250.959,17	817.001,45	19.164.836,70	2.294.030,95	852.876.864,00	124.564.704,00	10.409.315,64	872.954,82	13.968.926,16	2.046.040,08	1.091.822.343,01	149.426.322,52		
BarCELONA	189.801.378,20	19.408.693,90	10.843.814,27	854.252,00	20.273.217,98	2.426.704,19	852.187.392,00	124.738.699,50	10.409.315,64	872.954,82	13.968.926,16	2.046.040,08	1.097.484.044,25	150.357.344,49		
BarCELONA	177.728.219,29	18.105.419,02	10.568.644,23	842.320,95	19.758.769,56	2.356.124,73	852.876.864,00	124.564.704,00	10.409.315,64	872.954,82	23.587.060,56	4.660.288,08	1.094.928.873,37	151.410.811,60		
BarCELONA	182.378.156,15	18.682.521,70	11.161.499,33	859.571,50	20.867.150,93	2.497.797,97	852.187.392,00	124.738.699,50	10.409.315,64	872.954,82	23.587.060,56	4.660.288,08	1.100.590.574,61	152.341.833,57		
ENSANCHE													TOTAL			
BarCELONA	185.418.279,14	19.560.187,73	11.042.440,49	880.082,51	20.644.562,66	2.471.154,15	854.253.152,00	127.595.699,50	11.736.982,38	1.236.526,90	18.156.597,60	2.496.280,80	1.111.252.014,27	154.239.931,59		
BarCELONA	188.715.847,20	19.969.448,21	11.462.872,02	913.590,90	21.430.586,82	2.565.241,24	853.908.416,00	127.704.004,00	11.736.982,38	1.236.526,90	18.156.597,60	2.496.280,80	1.115.411.302,02	154.885.092,05		
BarCELONA	178.905.912,74	18.923.119,66	11.321.157,25	902.296,23	21.165.641,81	2.533.527,33	864.253.152,00	127.595.699,50	11.736.982,38	1.236.526,90	27.774.732,00	5.110.528,80	1.115.157.578,18	156.301.698,42		
BarCELONA	182.203.480,80	19.332.380,14	11.741.588,77	935.804,63	21.951.665,97	2.627.614,42	853.908.416,00	127.704.004,00	11.736.982,38	1.236.526,90	27.774.732,00	5.110.528,80	1.119.316.865,92	156.946.858,89		
CIUDAD DISPERSA													TOTAL			
BarCELONA	435.724.916,34	44.882.516,20	20.631.358,49	1.644.319,27	38.571.670,21	4.617.028,92	1.273.110.048,00	192.951.324,50	74.579.731,54	8.126.261,76	62.800.237,92	7.292.379,36	1.905.417.962,50	259.573.830,01		
BarCELONA	452.911.702,29	47.015.564,57	22.822.629,90	1.818.963,60	42.668.385,03	5.107.406,88	1.270.007.424,00	193.542.547,00	74.579.731,54	8.126.261,76	62.800.237,92	7.292.379,36	1.925.790.120,68	262.903.123,17		
BarCELONA	421.517.143,08	43.492.649,62	21.239.408,76	1.692.780,88	39.708.459,86	4.753.102,65	1.273.110.048,00	192.951.324,50	74.579.731,54	8.126.261,76	72.418.372,32	9.906.627,36	1.902.573.163,56	260.922.746,77		
BarCELONA	438.703.929,03	45.625.697,98	23.430.880,17	1.867.425,21	43.805.184,67	5.243.480,61	1.270.007.424,00	193.542.547,00	74.579.731,54	8.126.261,76	72.418.372,32	9.906.627,36	1.922.945.321,73	264.312.039,92		

CUADRO RESUMEN DE ENERGIA Y EMISIONES DE CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 50 AÑOS - MADRID																		
JOHN HANCOCK CENTER	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (50 años)			MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL	
	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Estructura de Acero Y Cerramientos Ligeros	302.419.965,94	28.823.483,93	12.276.231,98	978.415,69	22.951.216,30	2.747.260,59	1.028.692.224,00	140.834.328,00	13.195.661,98	960.924,34	13.961.469,65	2.044.099,34	1.393.486.769,88	176.378.511,89				
Estructura de Acero Y Cerramientos Pesados	309.456.476,47	29.696.659,53	13.173.241,51	1.049.907,36	24.628.234,13	2.947.999,63	1.026.279.072,00	141.166.327,50	13.195.661,98	960.924,34	13.961.469,65	2.044.099,34	1.400.693.154,74	177.855.917,69				
Estructura de H.A. Y Cerramientos Ligeros	340.480.666,80	32.363.460,83	14.715.045,05	1.172.789,09	27.510.736,39	3.293.035,16	1.028.692.224,00	140.834.328,00	13.195.661,98	960.924,34	23.579.604,05	4.668.347,34	1.448.173.937,27	183.272.884,75				
Estructura de H.A. Y Cerramientos Pesados	347.516.175,33	33.236.636,43	15.612.054,68	1.244.280,76	29.187.754,22	3.493.774,18	1.028.279.072,00	141.166.327,50	13.195.661,98	960.924,34	23.579.604,05	4.668.347,34	1.455.370.322,16	184.750.290,54				
SEAGRAM	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (50 años)			MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL	
MADRID	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Cerramiento	247.444.340,81	24.079.463,86	10.738.161,24	865.831,45	20.075.692,75	2.403.060,42	982.842.336,00	132.994.744,00	10.186.677,22	765.521,08	9.584.178,36	1.576.490,57	1.280.870.386,38	162.675.111,38				
Estructura de Acero Y Cerramientos Ligeros	252.642.693,76	24.724.630,34	11.400.937,99	908.654,76	21.314.797,11	2.551.381,21	980.429.184,00	133.113.678,00	10.186.677,22	765.521,08	9.584.178,36	1.576.490,57	1.285.557.468,44	163.640.355,96				
Estructura de Acero Y Cerramientos Pesados	298.273.959,31	28.645.623,04	13.305.241,78	1.060.427,77	24.875.017,24	2.977.539,56	982.842.336,00	132.994.744,00	10.186.677,22	765.521,08	19.202.312,76	4.190.738,57	1.348.684.544,31	170.634.594,02				
Estructura de H.A. Y Cerramientos Ligeros	303.472.312,26	29.290.789,53	13.968.018,54	1.113.251,08	26.114.121,61	3.125.860,36	980.429.184,00	133.113.678,00	10.186.677,22	765.521,08	19.202.312,76	4.190.738,57	1.353.371.626,39	171.599.838,62				
Estructura de H.A. Y Cerramientos Pesados	303.472.312,26	29.290.789,53	13.968.018,54	1.113.251,08	26.114.121,61	3.125.860,36	980.429.184,00	133.113.678,00	10.186.677,22	765.521,08	19.202.312,76	4.190.738,57	1.353.371.626,39	171.599.838,62				
UNITE	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (50 años)			MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL	
MADRID	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Cerramiento	185.151.441,34	18.831.591,22	10.250.959,17	817.001,45	19.164.836,70	2.294.030,95	921.134.592,00	124.000.869,00	10.409.315,64	872.954,82	13.968.926,16	2.046.040,08	1.160.080.071,01	148.862.487,52				
Estructura de Acero Y Cerramientos Ligeros	189.801.378,20	19.408.693,90	10.843.814,27	864.252,00	20.273.217,98	2.426.704,19	919.410.912,00	124.158.873,00	10.409.315,64	872.954,82	13.968.926,16	2.046.040,08	1.164.707.564,29	149.777.517,99				
Estructura de Acero Y Cerramientos Pesados	177.728.219,29	18.105.419,02	10.568.644,23	842.320,96	19.758.769,66	2.365.124,73	921.134.592,00	124.000.869,00	10.409.315,64	872.954,82	23.587.060,56	4.660.288,08	1.163.186.601,37	150.846.976,60				
Estructura de H.A. Y Cerramientos Ligeros	182.378.156,15	18.682.521,70	11.161.499,33	889.571,50	20.867.150,93	2.497.797,97	919.410.912,00	124.158.873,00	10.409.315,64	872.954,82	23.587.060,56	4.660.288,08	1.167.814.094,61	151.762.007,07				
Estructura de H.A. Y Cerramientos Pesados	182.378.156,15	18.682.521,70	11.161.499,33	889.571,50	20.867.150,93	2.497.797,97	919.410.912,00	124.158.873,00	10.409.315,64	872.954,82	23.587.060,56	4.660.288,08	1.167.814.094,61	151.762.007,07				
ENSANCHE	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (50 años)			MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL	
MADRID	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Cerramiento	185.418.279,14	19.560.187,73	11.042.440,49	880.082,51	20.644.562,66	2.471.154,15	920.789.856,00	126.197.220,00	11.736.982,38	1.236.526,90	18.156.597,60	2.496.280,80	1.167.788.718,27	152.841.452,09				
Estructura de Acero Y Cerramientos Ligeros	188.715.847,20	19.969.448,21	11.462.872,02	913.590,90	21.430.586,82	2.565.241,24	919.410.912,00	126.246.919,50	11.736.982,38	1.236.526,90	18.156.597,60	2.496.280,80	1.170.913.798,02	153.428.007,55				
Estructura de Acero Y Cerramientos Pesados	178.905.912,74	18.923.119,66	11.321.157,25	902.296,23	21.165.641,81	2.533.527,33	920.789.856,00	126.197.220,00	11.736.982,38	1.236.526,90	27.774.732,00	5.110.528,80	1.171.694.282,18	154.903.218,92				
Estructura de H.A. Y Cerramientos Ligeros	182.203.480,80	19.332.380,14	11.741.588,77	935.804,63	21.951.665,97	2.627.614,42	919.410.912,00	126.246.919,50	11.736.982,38	1.236.526,90	27.774.732,00	5.110.528,80	1.174.819.361,92	155.489.774,39				
Estructura de H.A. Y Cerramientos Pesados	182.203.480,80	19.332.380,14	11.741.588,77	935.804,63	21.951.665,97	2.627.614,42	919.410.912,00	126.246.919,50	11.736.982,38	1.236.526,90	27.774.732,00	5.110.528,80	1.174.819.361,92	155.489.774,39				
CIUDAD DISPERSA	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (50 años)			MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL	
MADRID	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Cerramiento	435.724.916,34	44.882.516,20	20.631.358,49	1.644.319,27	38.571.670,21	4.617.028,92	1.413.417.600,00	193.359.549,50	74.579.731,54	8.126.261,76	62.800.237,92	7.292.379,36	2.045.725.514,50	259.922.055,01				
Estructura de Acero Y Cerramientos Ligeros	452.911.702,29	47.015.564,57	22.822.629,90	1.818.963,60	42.668.385,03	5.107.406,88	1.403.075.520,00	193.455.309,50	74.579.731,54	8.126.261,76	62.800.237,92	7.292.379,36	2.058.888.216,68	262.815.895,67				
Estructura de Acero Y Cerramientos Pesados	421.517.143,08	43.492.649,62	21.239.408,76	1.692.780,88	39.708.459,86	4.753.102,65	1.413.417.600,00	193.359.549,50	74.579.731,54	8.126.261,76	72.418.372,32	9.906.627,36	2.042.880.715,56	261.330.971,77				
Estructura de H.A. Y Cerramientos Ligeros	438.703.929,03	45.625.697,98	23.430.880,17	1.867.425,21	43.805.184,67	5.243.480,61	1.403.075.520,00	193.455.309,50	74.579.731,54	8.126.261,76	72.418.372,32	9.906.627,36	2.056.013.417,73	264.224.802,42				
Estructura de H.A. Y Cerramientos Pesados	438.703.929,03	45.625.697,98	23.430.880,17	1.867.425,21	43.805.184,67	5.243.480,61	1.403.075.520,00	193.455.309,50	74.579.731,54	8.126.261,76	72.418.372,32	9.906.627,36	2.056.013.417,73	264.224.802,42				

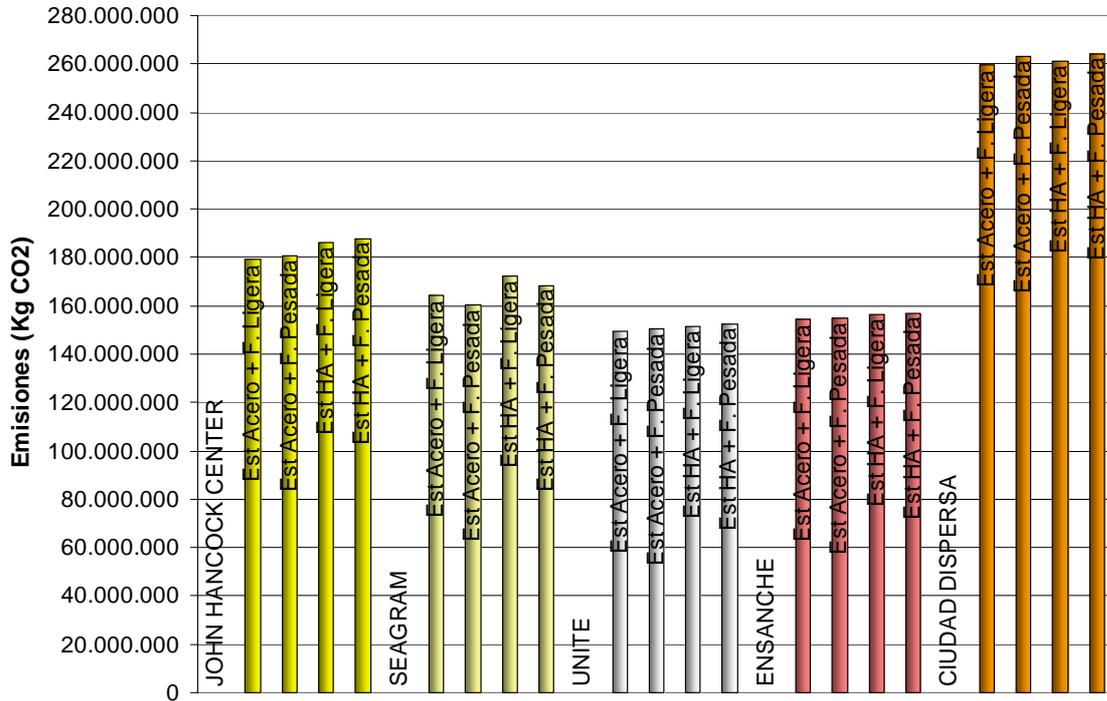
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 50 AÑOS- BARCELONA



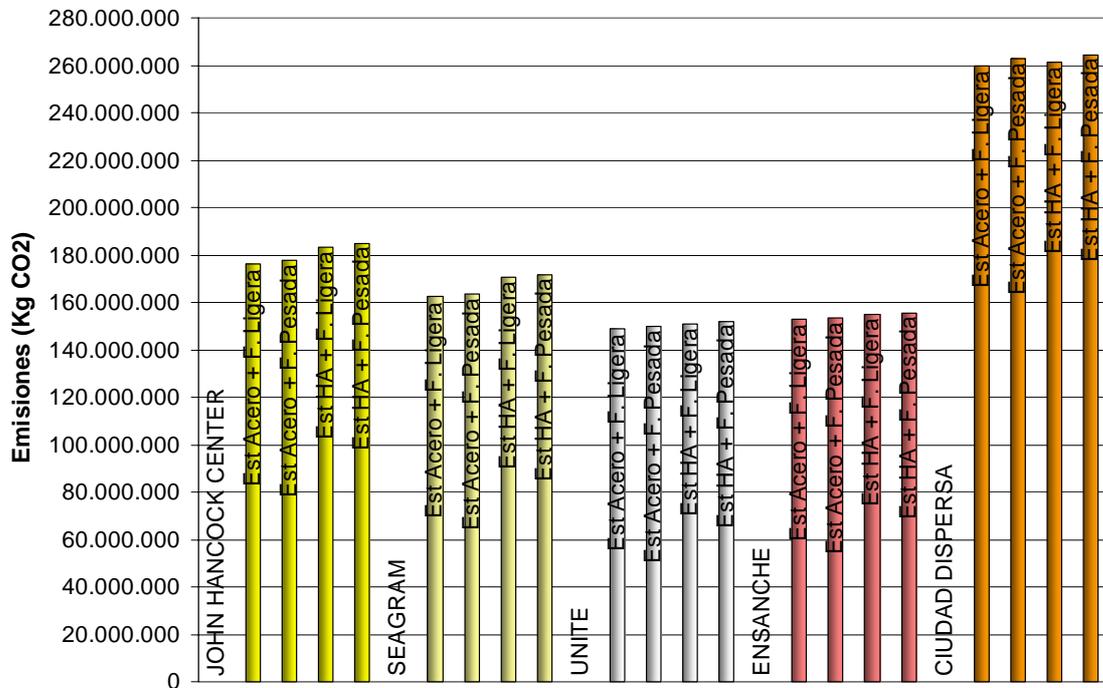
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 50 AÑOS- MADRID



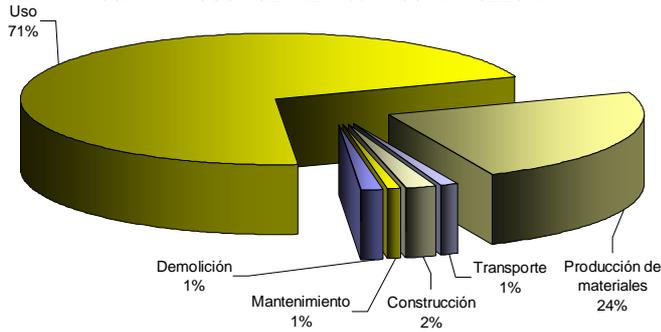
CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 50 AÑOS- BARCELONA



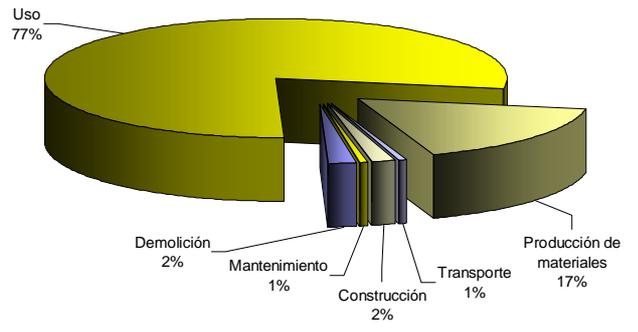
CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 50 AÑOS- MADRID



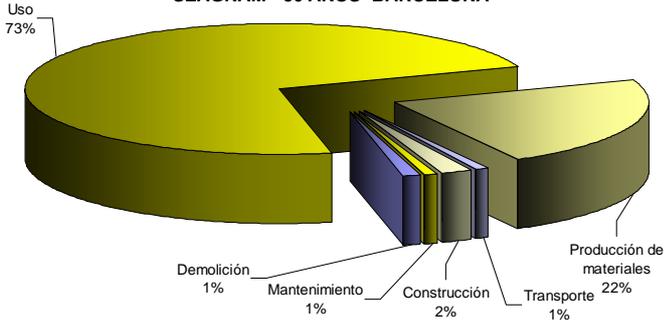
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL JOHN HANCOCK CENTER - 50 AÑOS- BARCELONA



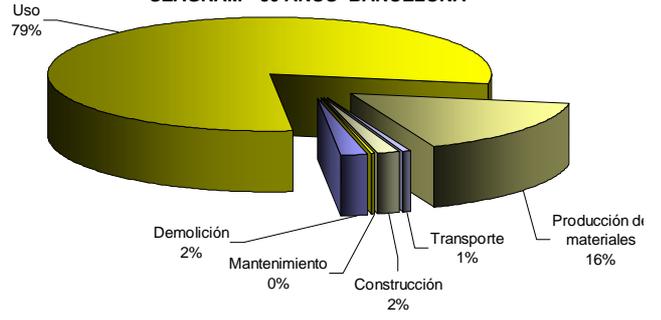
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL JOHN HANCOCK CENTER - 50 AÑOS- BARCELONA



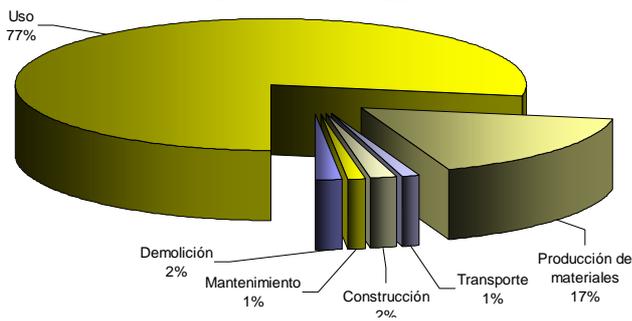
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL SEAGRAM - 50 AÑOS- BARCELONA



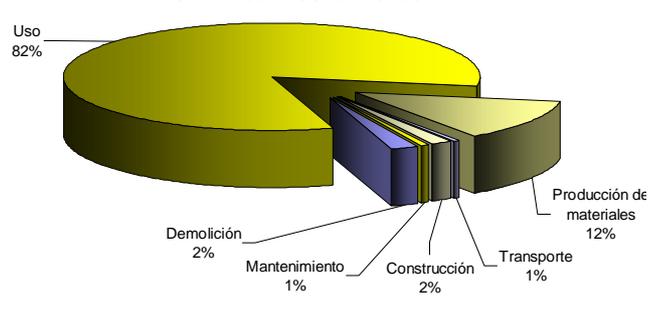
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL SEAGRAM - 50 AÑOS- BARCELONA



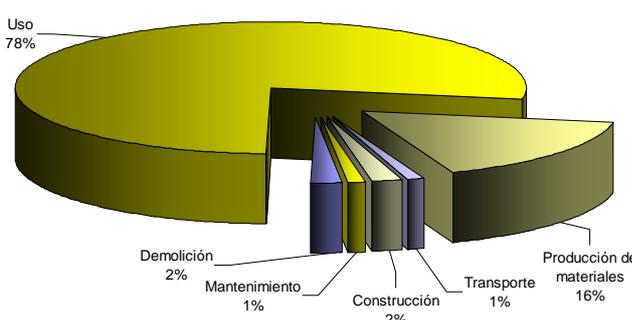
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DE LA UNITE - 50 AÑOS- BARCELONA



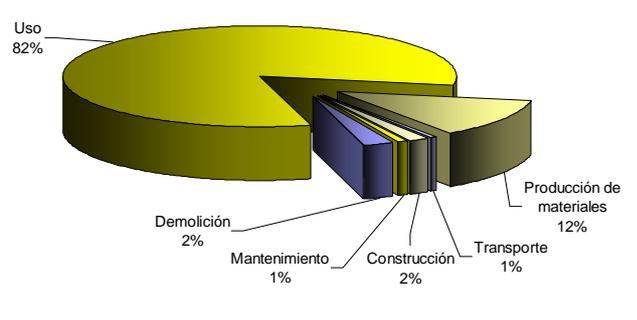
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DE LA UNITE - 50 AÑOS- BARCELONA



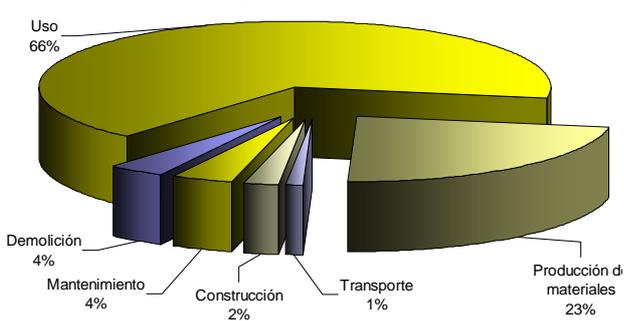
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL ENSANCHE - 50 AÑOS- BARCELONA



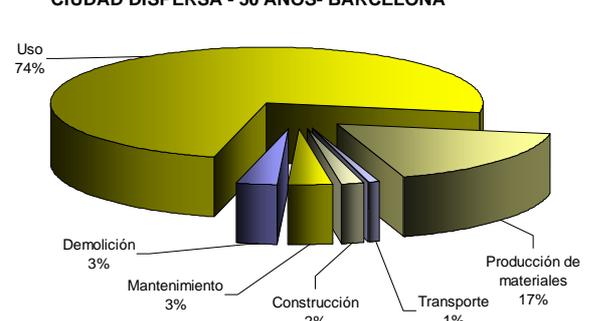
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL ENSANCHE - 50 AÑOS- BARCELONA



CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DE LA CIUDAD DISPERSA - 50 AÑOS- BARCELONA



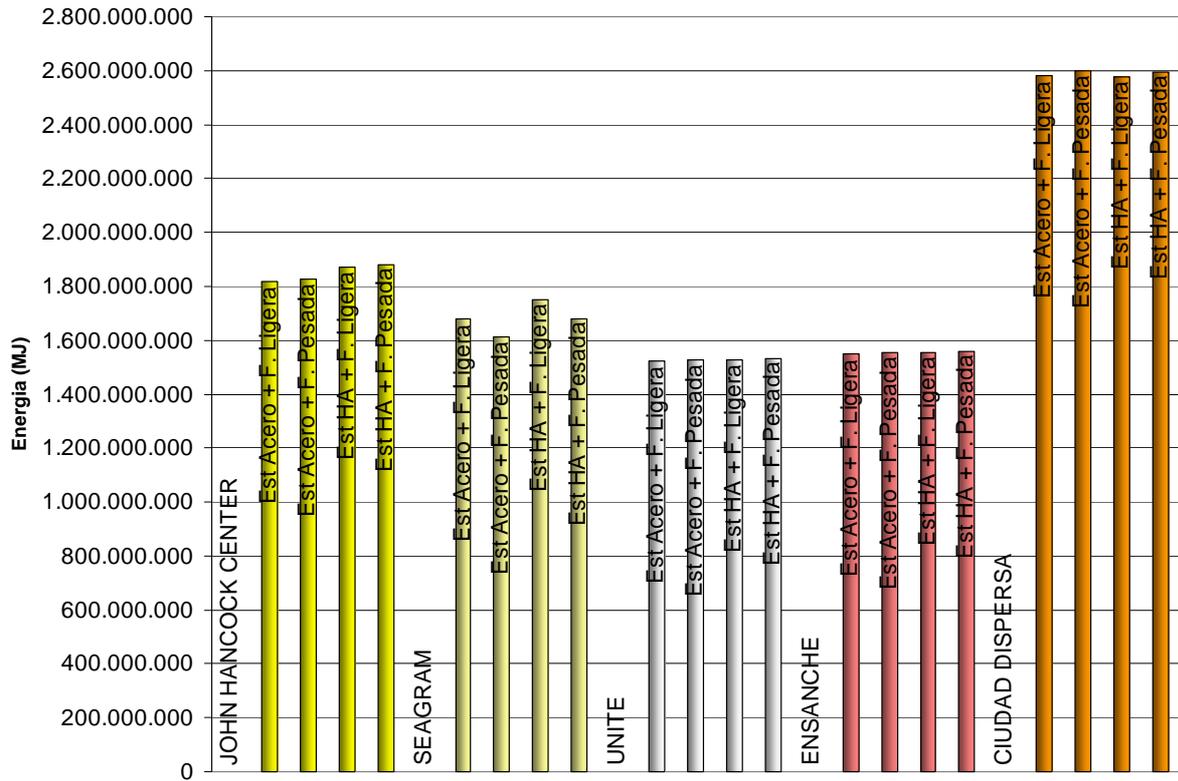
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DE LA CIUDAD DISPERSA - 50 AÑOS- BARCELONA



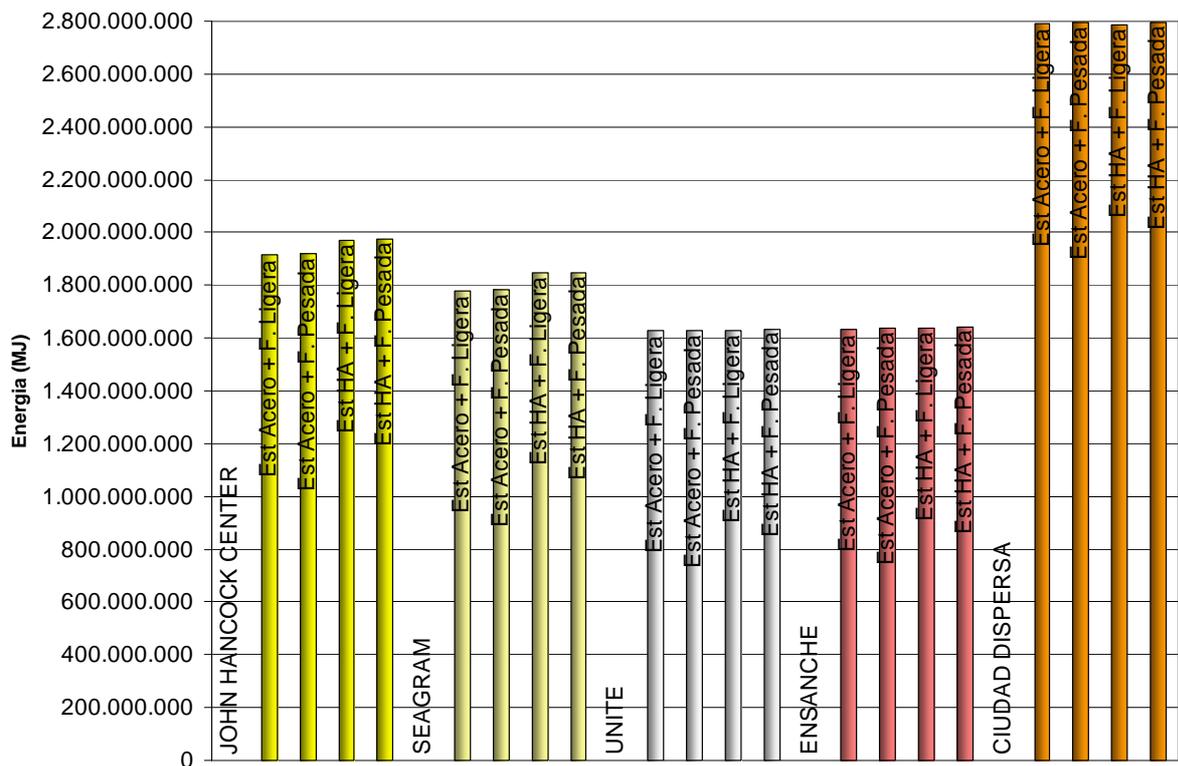
CUADRO RESUMEN DE ENERGIA Y EMISIONES DE CO2 EN EL ACV DE LOS 6 TIPOS EDIFICATORIOS - 75 AÑOS - BARCELONA																					
JOHN HANCOCK CENTER		PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (75 años)			MANTENIMIENTO			DEMOLICION			TOTAL	
BARCELONA	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	
Estructura de Acero y Ceramientos Ligeros	302.419.965,94	28.823.483,93	12.276.231,98	978.415,69	22.951.216,30	2.747.260,59	1.446.866.992,00	215.708.784,75	19.793.492,97	1.426.386,51	13.961.469,66	2.044.099,34	1.818.259.368,84	251.728.430,81							
Estructura de Acero y Ceramientos Pesados	309.455.475,47	29.696.659,53	13.173.241,51	1.049.907,35	24.628.234,13	2.947.999,63	1.444.788.676,00	216.102.933,00	19.793.492,97	1.426.386,51	13.961.469,66	2.044.099,34	1.825.800.489,73	253.267.985,36							
Estructura de H.A. y Ceramientos Ligeros	340.480.665,80	32.363.460,63	14.715.045,05	1.172.789,09	27.510.736,39	3.293.035,15	1.446.866.992,00	215.708.784,75	19.793.492,97	1.426.386,51	23.579.604,05	4.658.347,34	1.872.936.536,26	256.622.803,67							
Estructura de H.A. y Ceramientos Pesados	347.516.175,33	33.236.636,43	15.612.054,58	1.244.280,75	29.187.754,22	3.493.774,18	1.444.788.676,00	216.102.933,00	19.793.492,97	1.426.386,51	23.579.604,05	4.658.347,34	1.880.477.657,15	260.162.358,21							
SEAGRAM		PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (75 años)			MANTENIMIENTO			DEMOLICION			TOTAL	
BARCELONA	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	
Estructura de Acero y Ceramientos Ligeros	247.444.340,81	24.079.463,86	10.738.161,24	865.831,45	20.075.692,75	2.403.060,42	1.378.082.160,00	201.903.975,00	15.278.515,83	1.148.281,62	9.584.178,36	1.576.490,57	1.681.203.048,99	231.967.102,92							
Estructura de Acero y Ceramientos Pesados	252.642.693,76	24.724.630,34	11.400.937,99	908.654,76	21.314.797,11	2.561.381,21	1.301.560.768,00	194.818.642,50	15.278.515,83	1.148.281,62	9.584.178,36	1.576.490,57	1.611.771.891,05	225.728.081,00							
Estructura de H.A. y Ceramientos Ligeros	298.273.959,31	28.645.623,04	13.305.241,78	1.060.427,77	24.875.017,24	2.977.539,66	1.378.082.160,00	201.903.975,00	15.278.515,83	1.148.281,62	19.202.312,76	4.190.738,57	1.749.017.206,92	239.926.585,56							
Estructura de H.A. y Ceramientos Pesados	303.472.312,26	29.290.789,53	13.966.018,54	1.113.251,08	26.114.121,61	3.125.660,36	1.301.560.768,00	194.818.642,50	15.278.515,83	1.148.281,62	19.202.312,76	4.190.738,57	1.679.586.049,00	233.687.563,66							
UNITE		PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (75 años)			MANTENIMIENTO			DEMOLICION			TOTAL	
BARCELONA	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	
Estructura de Acero y Ceramientos Ligeros	195.151.441,34	18.831.591,22	10.250.959,17	817.001,45	19.164.836,70	2.294.030,95	1.279.315.296,00	186.847.066,00	15.613.973,46	1.309.432,23	13.968.926,16	2.046.040,08	1.523.465.432,83	212.145.151,93							
Estructura de Acero y Ceramientos Pesados	189.801.378,20	19.408.693,90	10.843.814,27	864.252,00	20.273.217,98	2.426.704,19	1.278.281.088,00	187.108.049,25	15.613.973,46	1.309.432,23	13.968.926,16	2.046.040,08	1.528.782.398,07	213.163.171,65							
Estructura de H.A. y Ceramientos Ligeros	177.728.219,29	18.105.419,02	10.566.644,23	842.320,95	19.756.769,65	2.365.124,73	1.279.315.296,00	186.847.066,00	15.613.973,46	1.309.432,23	23.567.060,56	4.660.288,08	1.526.571.963,19	214.129.641,01							
Estructura de H.A. y Ceramientos Pesados	182.378.156,15	18.682.521,70	11.161.499,33	889.571,50	20.867.150,93	2.497.797,97	1.278.281.088,00	187.108.049,25	15.613.973,46	1.309.432,23	23.567.060,56	4.660.288,08	1.531.888.928,43	215.147.660,73							
ENSANCHE		PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (75 años)			MANTENIMIENTO			DEMOLICION			TOTAL	
BARCELONA	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	
Estructura de Acero y Ceramientos Ligeros	185.418.279,14	19.560.187,73	11.042.440,49	880.082,51	20.644.562,66	2.471.154,15	1.296.379.728,00	191.393.549,25	17.605.473,57	1.854.790,35	18.156.597,60	2.496.280,80	1.549.247.081,46	218.656.044,79							
Estructura de Acero y Ceramientos Pesados	188.715.847,20	19.969.448,21	11.452.872,02	913.590,90	21.430.586,82	2.565.241,24	1.295.862.624,00	191.556.006,00	17.605.473,57	1.854.790,35	18.156.597,60	2.496.280,80	1.553.234.001,21	219.355.357,50							
Estructura de H.A. y Ceramientos Ligeros	178.905.912,74	18.923.119,66	11.321.157,25	902.296,23	21.165.641,81	2.533.527,33	1.296.379.728,00	191.393.549,25	17.605.473,57	1.854.790,35	27.774.732,00	5.110.528,80	1.553.152.645,37	220.717.811,62							
Estructura de H.A. y Ceramientos Pesados	182.203.480,80	19.332.380,14	11.741.588,77	935.804,63	21.951.665,97	2.627.614,42	1.295.862.624,00	191.556.006,00	17.605.473,57	1.854.790,35	27.774.732,00	5.110.528,80	1.557.139.565,11	221.417.124,34							
CIUDAD DISPERSA		PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (75 años)			MANTENIMIENTO			DEMOLICION			TOTAL	
BARCELONA	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	
Estructura de Acero y Ceramientos Ligeros	435.724.916,34	44.882.516,20	20.631.358,49	1.644.319,27	36.571.670,21	4.617.028,92	1.909.665.072,00	289.426.986,75	111.869.597,31	12.189.392,64	62.800.237,92	7.292.379,36	2.579.262.852,27	360.052.623,14							
Estructura de Acero y Ceramientos Pesados	452.911.702,29	47.015.564,57	22.822.629,90	1.818.963,60	42.668.395,03	5.107.406,88	1.905.011.136,00	290.313.820,50	111.869.597,31	12.189.392,64	62.800.237,92	7.292.379,36	2.598.083.698,45	363.737.527,55							
Estructura de H.A. y Ceramientos Ligeros	421.517.143,08	43.492.649,62	21.239.408,76	1.692.780,88	39.708.459,86	4.753.102,65	1.909.665.072,00	289.426.986,75	111.869.597,31	12.189.392,64	72.418.372,32	9.906.627,36	2.576.418.053,33	361.461.539,90							
Estructura de H.A. y Ceramientos Pesados	438.703.929,03	45.625.697,98	23.430.680,17	1.867.425,21	43.805.184,67	5.243.480,61	1.905.011.136,00	290.313.820,50	111.869.597,31	12.189.392,64	72.418.372,32	9.906.627,36	2.595.238.899,50	365.146.444,30							

CUADRO RESUMEN DE ENERGIA Y EMISIONES DE CO2 EN EL ACV DE LOS 6 TIPOS EDIFICATORIOS - 75 AÑOS - MADRID																				
JOHN HANCOCK CENTER MADRID Cerramiento	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (75 años)			MANTENIMIENTO			DEMOLICION			TOTAL	
	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Emisiones CO ₂ (kg)	
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	302.419.965,94	28.823.483,93	12.276.231,98	978.415,69	22.951.216,30	2.747.260,59	1.543.038.336,00	2.111.251.492,00	19.793.492,97	1.426.386,51	13.961.469,66	2.044.099,34	1.914.440.712,84	247.271.138,06						
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	309.455.475,47	29.696.659,53	13.173.241,51	1.049.907,35	24.628.234,13	2.947.999,63	1.539.418.608,00	2.111.749.491,25	19.793.492,97	1.426.386,51	13.961.469,66	2.044.099,34	1.920.430.521,73	248.914.543,61						
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	340.480.665,80	32.363.460,63	14.715.045,05	1.172.789,09	27.510.736,39	3.293.035,15	1.543.038.336,00	2.111.251.492,00	19.793.492,97	1.426.386,51	23.579.604,05	4.658.347,34	1.969.117.880,26	254.165.510,92						
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	347.516.175,33	33.236.636,43	15.612.054,58	1.244.280,75	29.187.754,22	3.493.774,18	1.539.418.608,00	2.111.749.491,25	19.793.492,97	1.426.386,51	23.579.604,05	4.658.347,34	1.975.107.689,15	255.808.916,46						
SEAGRAM																				
MADRID Cerramiento	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (75 años)			MANTENIMIENTO			DEMOLICION			TOTAL	
	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Emisiones CO ₂ (kg)	
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	247.444.340,81	24.079.463,86	10.738.161,24	865.831,45	20.075.692,75	2.403.060,42	1.474.263.504,00	199.492.116,00	15.278.515,83	1.148.281,62	9.584.178,36	1.576.490,57	1.777.384.392,99	229.555.243,92						
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	252.642.693,76	24.724.630,34	11.400.937,99	908.654,76	21.314.797,11	2.561.381,21	1.470.643.776,00	199.670.517,00	15.278.515,83	1.148.281,62	9.584.178,36	1.576.490,57	1.780.864.899,05	230.579.955,50						
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	298.273.959,31	28.645.623,04	13.305.241,78	1.060.427,77	24.875.017,24	2.977.539,66	1.474.263.504,00	199.492.116,00	15.278.515,83	1.148.281,62	19.202.312,76	4.190.738,57	1.845.198.550,92	237.514.726,56						
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	303.472.312,26	29.290.789,53	13.968.018,54	1.113.251,08	26.114.121,61	3.125.660,36	1.470.643.776,00	199.670.517,00	15.278.515,83	1.148.281,62	19.202.312,76	4.190.738,57	1.848.679.057,00	238.539.438,16						
UNITE	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (75 años)			MANTENIMIENTO			DEMOLICION			TOTAL	
MADRID	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Emisiones CO ₂ (kg)	
Cerramiento																				
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	195.151.441,34	18.831.591,22	10.250.959,17	817.001,45	19.164.836,70	2.294.030,95	1.361.701.888,00	186.001.303,50	15.613.973,46	1.309.432,23	13.968.926,16	2.046.040,08	1.625.852.024,83	211.299.399,43						
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	189.801.378,20	19.408.693,90	10.843.814,27	864.252,00	20.273.217,98	2.426.704,19	1.379.116.368,00	186.238.309,50	15.613.973,46	1.309.432,23	13.968.926,16	2.046.040,08	1.629.617.678,07	212.293.431,90						
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	177.728.219,29	18.105.419,02	10.566.644,23	842.320,95	19.756.769,65	2.365.124,73	1.361.701.888,00	186.001.303,50	15.613.973,46	1.309.432,23	23.567.060,56	4.660.288,08	1.628.968.555,19	213.283.888,51						
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	182.378.156,15	18.682.521,70	11.161.499,33	889.571,50	20.867.150,93	2.497.797,97	1.379.116.368,00	186.238.309,50	15.613.973,46	1.309.432,23	23.567.060,56	4.660.288,08	1.632.724.208,43	214.277.920,98						
ENSANCHE	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (75 años)			MANTENIMIENTO			DEMOLICION			TOTAL	
MADRID	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Emisiones CO ₂ (kg)	
Cerramiento																				
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	185.418.279,14	19.560.187,73	11.042.440,49	880.082,51	20.644.562,66	2.471.154,15	1.381.184.784,00	189.295.830,00	17.605.473,57	1.854.790,35	18.156.597,60	2.496.280,80	1.634.052.137,46	216.558.325,54						
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	188.715.847,20	19.969.448,21	11.452.872,02	913.590,90	21.430.586,82	2.565.241,24	1.379.116.368,00	189.370.379,25	17.605.473,57	1.854.790,35	18.156.597,60	2.496.280,80	1.636.487.745,21	217.169.730,75						
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	178.905.912,74	18.923.119,66	11.321.157,25	902.296,23	21.165.641,81	2.533.527,33	1.381.184.784,00	189.295.830,00	17.605.473,57	1.854.790,35	27.774.732,00	5.110.528,80	1.637.957.701,37	218.620.092,37						
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	182.203.480,80	19.332.380,14	11.741.588,77	935.804,63	21.951.665,97	2.627.614,42	1.379.116.368,00	189.370.379,25	17.605.473,57	1.854.790,35	27.774.732,00	5.110.528,80	1.640.393.309,11	219.231.497,59						
CIUDAD DISPERSA	PRODUCCION			TRANSPORTE			CONSTRUCCION			USO (75 años)			MANTENIMIENTO			DEMOLICION			TOTAL	
MADRID	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Emisiones CO ₂ (kg)	
Cerramiento																				
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	435.724.916,34	44.882.516,20	20.631.358,49	1.644.319,27	36.571.670,21	4.617.028,92	2.120.126.400,00	290.039.324,25	111.869.597,31	12.189.392,64	62.800.237,92	7.292.379,36	2.789.724.180,27	360.664.960,64						
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	452.911.702,29	47.015.564,57	22.822.629,90	1.818.963,60	42.668.395,03	5.107.406,88	2.104.613.280,00	290.182.964,25	111.869.597,31	12.189.392,64	62.800.237,92	7.292.379,36	2.797.685.842,45	363.606.671,30						
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	421.517.143,08	43.492.649,62	21.239.408,76	1.692.780,88	39.708.459,86	4.753.102,65	2.120.126.400,00	290.039.324,25	111.869.597,31	12.189.392,64	72.418.372,32	9.906.627,36	2.786.879.381,33	362.073.877,40						
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	438.703.929,03	45.625.697,98	23.430.680,17	1.867.425,21	43.805.184,67	5.243.480,61	2.104.613.280,00	290.182.964,25	111.869.597,31	12.189.392,64	72.418.372,32	9.906.627,36	2.794.841.043,50	365.015.588,05						

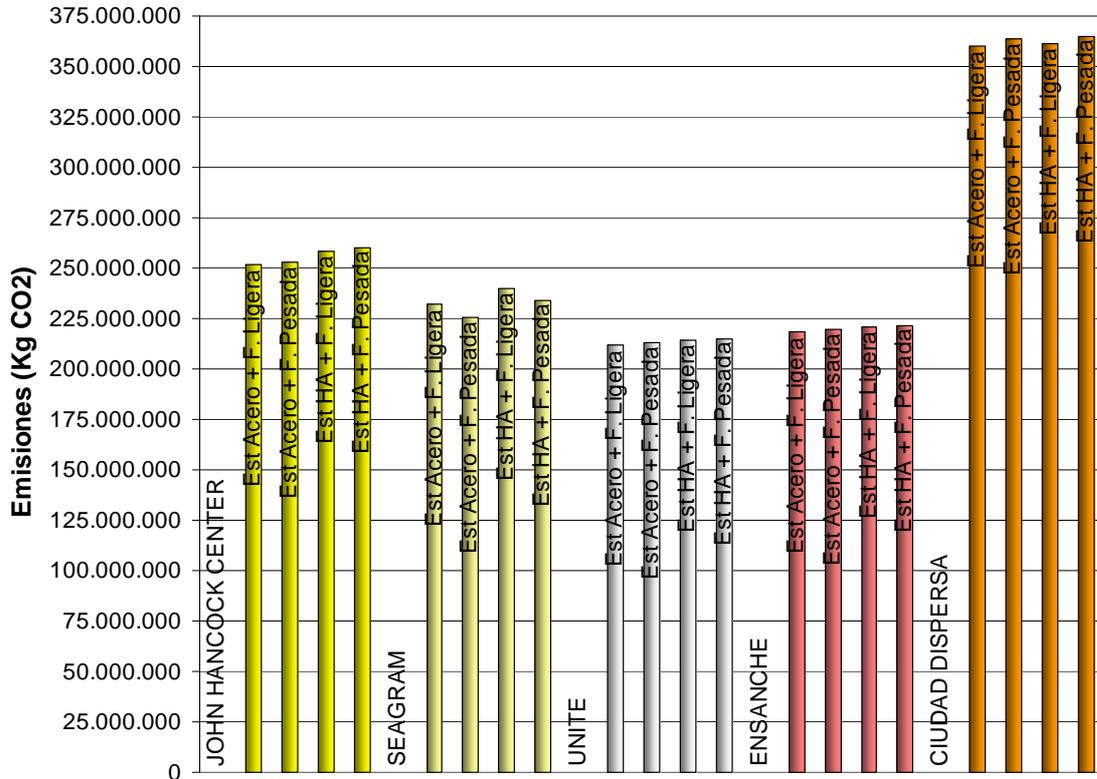
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 75 AÑOS- BARCELONA



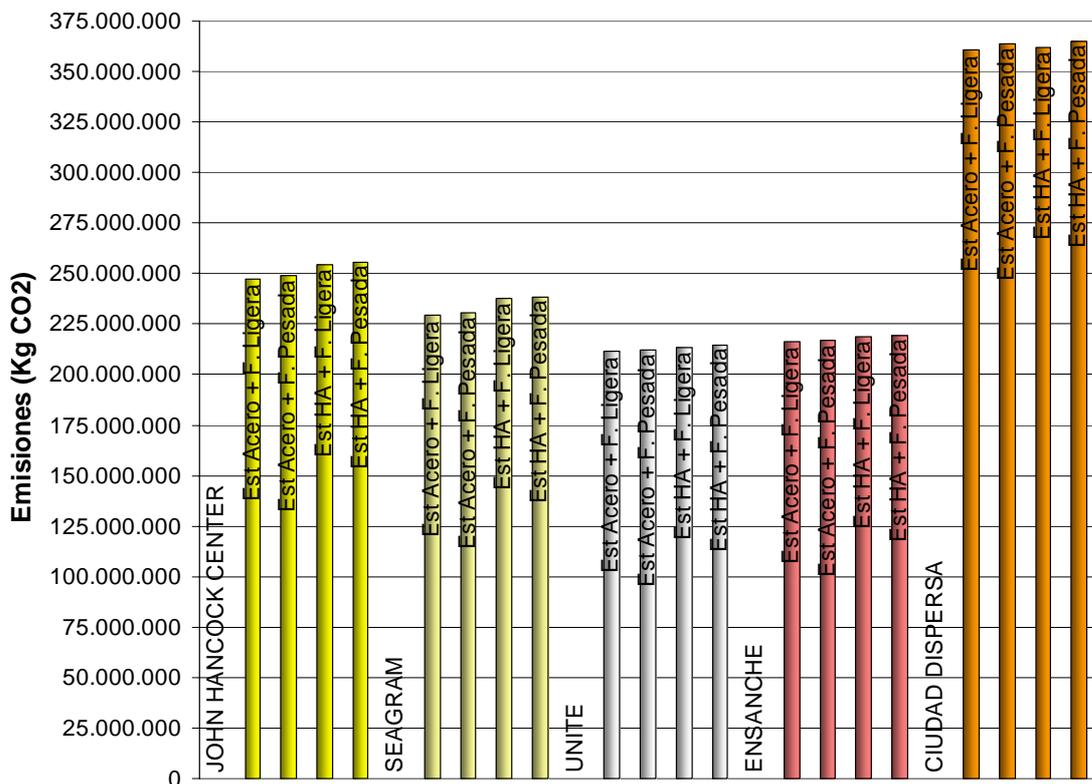
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 75 AÑOS- MADRID



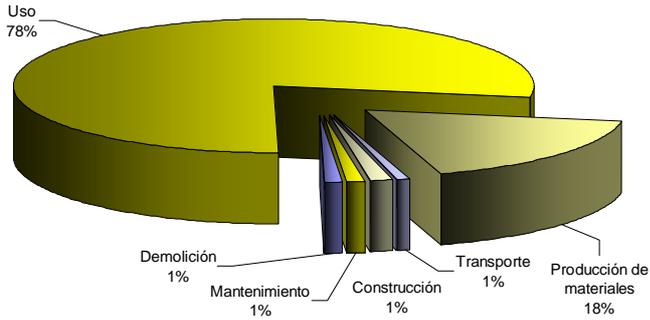
CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 75 AÑOS- BARCELONA



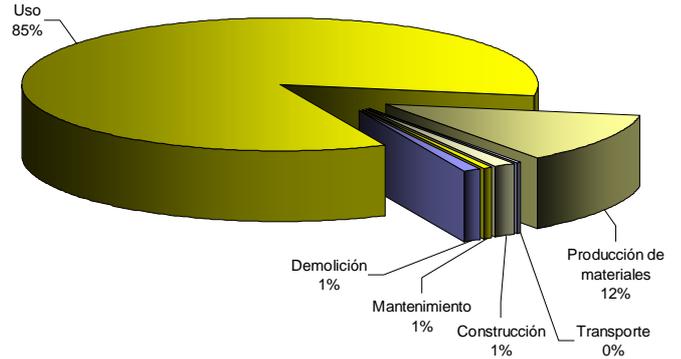
CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 75 AÑOS- MADRID



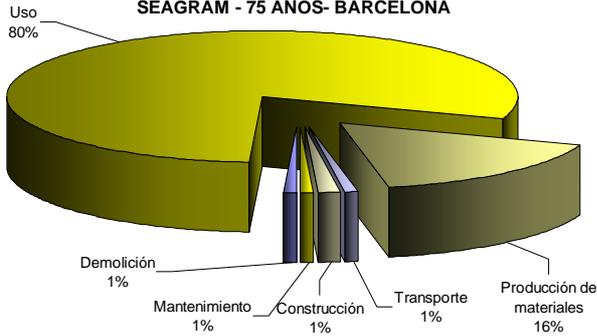
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL JOHN HANCOCK CENTER - 75 AÑOS- BARCELONA



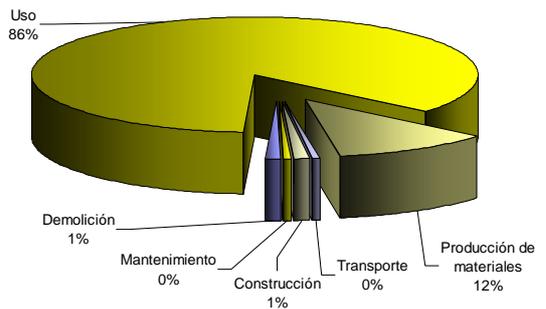
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL JOHN HANCOCK CENTER - 75 AÑOS- BARCELONA



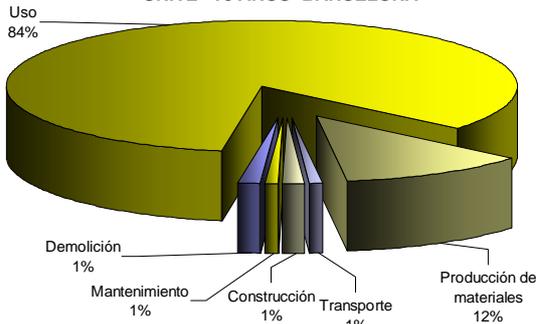
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL SEAGRAM - 75 AÑOS- BARCELONA



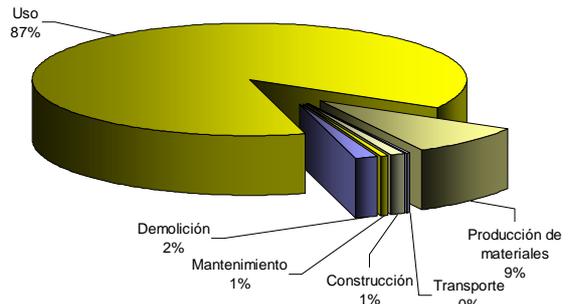
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL SEAGRAM - 75 AÑOS- BARCELONA



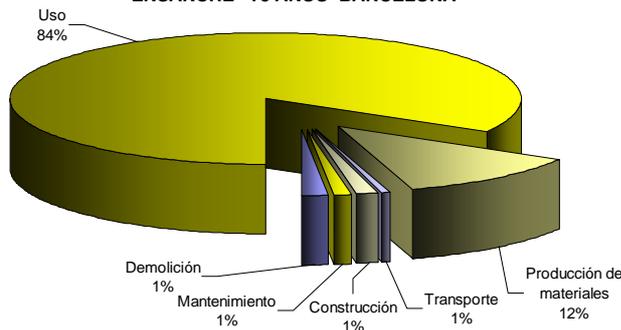
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DE LA UNITE - 75 AÑOS- BARCELONA



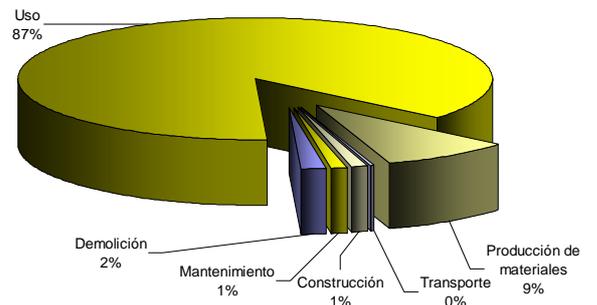
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DE LA UNITE - 75 AÑOS- BARCELONA



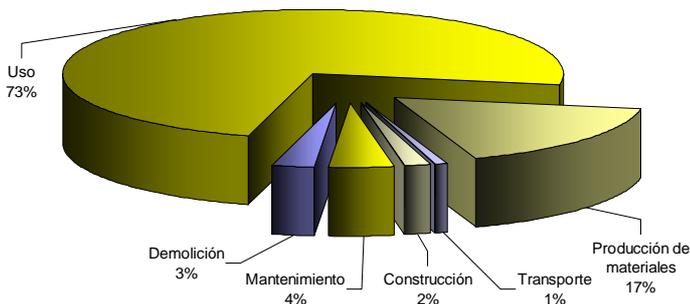
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL ENSANCHE - 75 AÑOS- BARCELONA



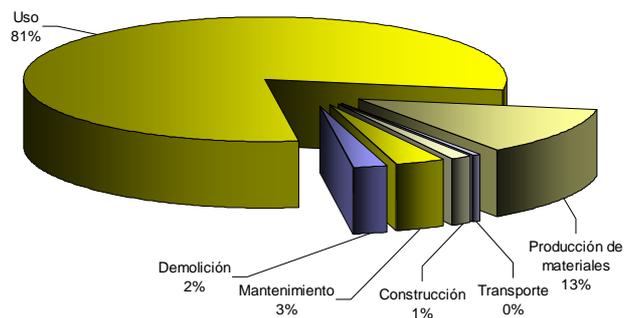
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL ENSANCHE - 75 AÑOS- BARCELONA



CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DE LA CIUDAD DISPERSA - 75 AÑOS- BARCELONA



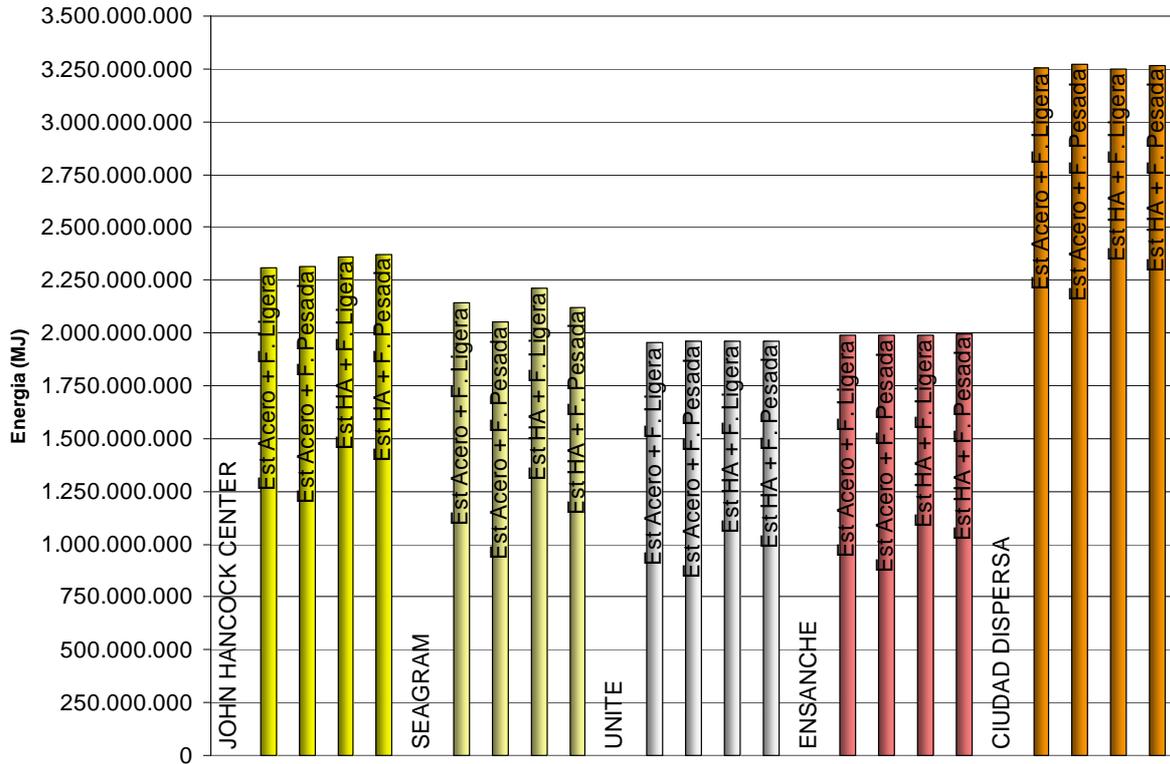
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DE LA CIUDAD DISPERSA - 75 AÑOS- BARCELONA



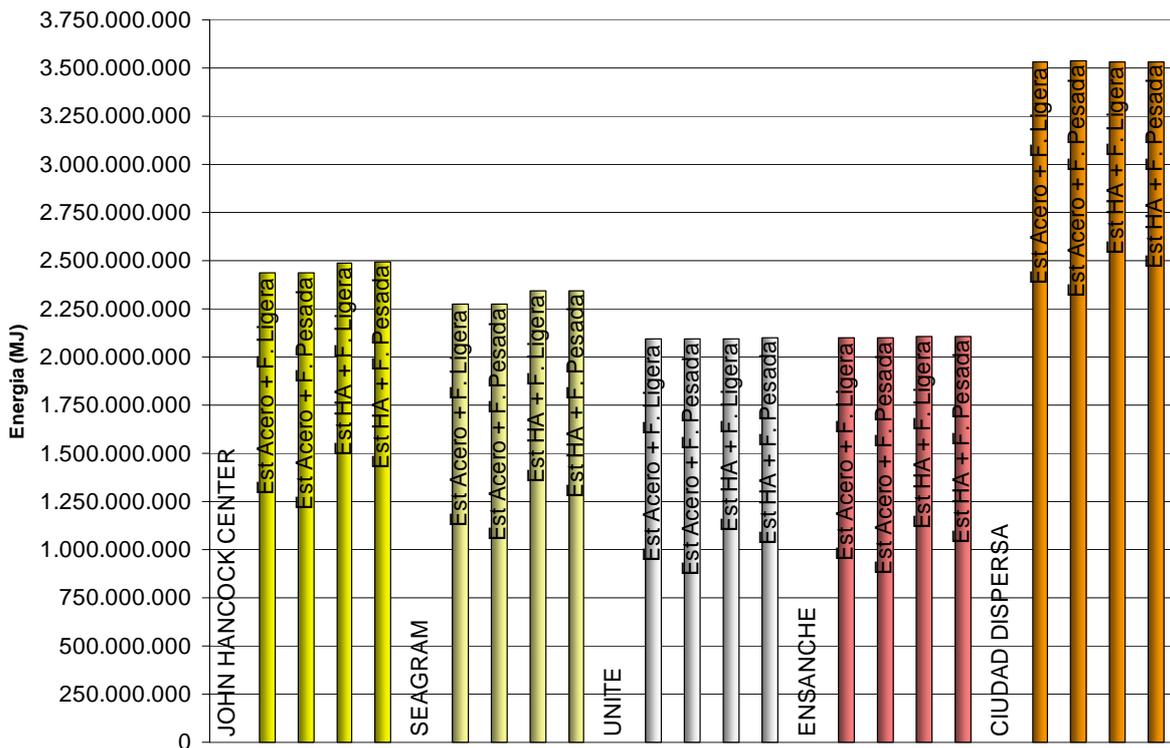
CUADRO RESUMEN DE ENERGIA Y EMISIONES DE CO2 EN EL ACV DE LOS 6 TIPOS EDIFICATORIOS - 100 AÑOS - BARCELONA														
JOHN HANCOCK CENTER		PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (100 años)		MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL
BARCELONA	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	302.419.965,94	28.823.483,93	12.276.231,98	978.416,69	22.951.216,30	2.747.260,59	1.929.142.656,00	287.611.713,00	26.391.323,96	1.901.848,68	13.961.469,66	2.044.099,34	2.307.142.863,83	324.106.821,23
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	309.456.475,47	29.696.659,53	13.173.241,51	1.049.907,35	24.628.234,13	2.947.999,63	1.926.384.768,00	288.137.244,00	26.391.323,96	1.901.848,68	13.961.469,66	2.044.099,34	2.313.994.512,72	325.777.758,53
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	340.480.665,80	32.363.460,63	14.715.045,05	1.172.789,09	27.510.736,39	3.293.035,15	1.929.142.656,00	287.611.713,00	26.391.323,96	1.901.848,68	23.579.604,05	4.658.347,34	2.361.820.031,25	331.001.194,09
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	347.516.175,33	33.236.636,43	15.612.054,58	1.244.280,75	29.187.754,22	3.493.774,18	1.926.384.768,00	288.137.244,00	26.391.323,96	1.901.848,68	23.579.604,05	4.658.347,34	2.368.671.680,14	332.672.131,38
SEAGRAM														
PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (100 años)		MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL		
BARCELONA	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	247.444.340,81	24.079.463,86	10.738.161,24	865.831,45	20.075.692,75	2.403.060,42	1.837.442.880,00	269.205.300,00	20.371.354,44	1.531.042,16	9.584.178,36	1.576.490,57	2.145.656.607,60	299.651.188,46
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	252.642.693,76	24.724.630,34	11.400.937,99	908.654,76	21.314.797,11	2.561.381,21	1.735.401.924,00	259.758.190,00	20.371.354,44	1.531.042,16	9.584.178,36	1.576.490,57	2.050.714.985,66	291.050.389,04
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	298.273.959,31	28.645.623,04	13.305.241,78	1.060.427,77	24.875.017,24	2.977.539,66	1.837.442.880,00	269.205.300,00	20.371.354,44	1.531.042,16	19.202.312,76	4.190.738,57	2.213.470.765,53	307.610.671,10
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	303.472.312,26	29.290.789,53	13.968.018,54	1.113.251,08	26.114.121,61	3.125.660,36	1.735.401.924,00	259.758.190,00	20.371.354,44	1.531.042,16	19.202.312,76	4.190.738,57	2.118.529.143,61	299.009.871,70
UNITE														
PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (100 años)		MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL		
BARCELONA	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	195.151.441,34	18.831.591,22	10.250.959,17	817.001,45	19.164.836,70	2.294.030,95	1.705.753.728,00	249.129.408,00	20.818.631,28	1.745.909,64	13.968.926,16	2.046.040,08	1.955.108.522,65	274.863.981,34
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	189.801.378,20	19.408.693,90	10.843.814,27	864.252,00	20.273.217,98	2.426.704,19	1.704.374.784,00	249.477.399,00	20.818.631,28	1.745.909,64	13.968.926,16	2.046.040,08	1.960.080.751,89	275.968.998,81
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	177.728.219,29	18.105.419,02	10.568.644,23	842.320,95	19.756.769,65	2.365.124,73	1.705.753.728,00	249.129.408,00	20.818.631,28	1.745.909,64	23.567.060,56	4.660.288,08	1.958.215.053,01	276.848.470,42
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	182.378.156,15	18.682.521,70	11.161.499,33	889.571,50	20.867.150,93	2.497.797,97	1.704.374.784,00	249.477.399,00	20.818.631,28	1.745.909,64	23.567.060,56	4.660.288,08	1.963.187.282,25	277.953.487,89
ENSANCHE														
PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (100 años)		MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL		
BARCELONA	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	185.418.279,14	19.560.187,73	11.042.440,49	880.082,51	20.644.562,66	2.471.154,15	1.728.506.304,00	255.191.399,00	23.473.964,76	2.473.053,80	18.156.597,60	2.496.280,80	1.987.242.148,65	283.072.157,99
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	188.715.847,20	19.969.448,21	11.452.872,02	913.590,90	21.430.586,82	2.565.241,24	1.727.816.832,00	255.408.008,00	23.473.964,76	2.473.053,80	18.156.597,60	2.496.280,80	1.991.056.700,40	283.825.622,95
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	178.905.912,74	18.923.119,66	11.321.157,25	902.296,23	21.165.641,81	2.533.527,33	1.728.506.304,00	255.191.399,00	23.473.964,76	2.473.053,80	27.774.732,00	5.110.528,80	1.991.147.712,56	285.133.924,82
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	182.203.480,80	19.332.380,14	11.741.588,77	935.804,63	21.951.665,97	2.627.614,42	1.727.816.832,00	255.408.008,00	23.473.964,76	2.473.053,80	27.774.732,00	5.110.528,80	1.994.962.264,30	285.887.389,79
CIUDAD DISPERSA														
PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (100 años)		MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL		
BARCELONA	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	436.724.916,34	44.882.516,20	20.631.358,49	1.644.319,27	36.571.670,21	4.617.028,92	2.546.220.096,00	385.902.649,00	149.159.463,08	16.252.523,52	62.800.237,92	7.292.379,36	3.253.107.742,04	460.591.416,27
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	452.911.702,29	47.015.564,57	22.822.629,90	1.818.963,60	42.668.395,03	5.107.406,88	2.540.014.848,00	387.085.094,00	149.159.463,08	16.252.523,52	62.800.237,92	7.292.379,36	3.270.377.276,22	464.571.931,93
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	421.517.143,08	43.492.649,62	21.239.408,76	1.692.780,88	39.708.459,86	4.753.102,65	2.546.220.096,00	385.902.649,00	149.159.463,08	16.252.523,52	72.418.372,32	9.906.627,36	3.250.262.943,10	462.000.333,03
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	438.703.929,03	45.625.697,98	23.430.680,17	1.867.425,21	43.805.184,67	5.243.480,61	2.540.014.848,00	387.085.094,00	149.159.463,08	16.252.523,52	72.418.372,32	9.906.627,36	3.267.532.477,21	465.980.848,68

CUADRO RESUMEN DE ENERGIA Y EMISIONES DE CO2 EN EL ACV DE LOS 6 TIPOS EDIFICATORIOS - 100 AÑOS - MADRID														
JOHN HANCOCK CENTER		PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (100 años)		MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL
MADRID	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	302.419.965,94	28.823.483,93	12.276.231,98	978.415,69	22.951.216,30	2.747.260,59	2.057.384.448,00	281.668.656,00	26.391.323,96	1.901.848,68	13.961.469,56	2.044.099,34	2.435.384.655,83	318.163.764,23
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	309.455.475,47	29.696.659,53	13.173.241,51	1.049.907,35	24.628.234,13	2.947.999,63	2.052.558.144,00	282.332.655,00	26.391.323,96	1.901.848,68	13.961.469,56	2.044.099,34	2.440.167.888,72	319.973.169,53
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	340.480.665,80	32.363.460,63	14.715.045,05	1.172.789,09	27.510.736,39	3.293.035,15	2.057.384.448,00	281.668.656,00	26.391.323,96	1.901.848,68	23.579.604,05	4.658.347,34	2.490.061.823,25	325.056.137,09
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados	347.516.175,33	33.236.636,43	15.612.054,58	1.244.280,75	29.187.754,22	3.493.774,18	2.052.558.144,00	282.332.655,00	26.391.323,96	1.901.848,68	23.579.604,05	4.658.347,34	2.494.845.056,14	326.867.542,38
SEAGRAM														
PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (100 años)		MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL		
MADRID	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Cerramiento	247.444.340,81	24.079.463,86	10.738.161,24	865.831,45	20.075.692,75	2.403.060,42	1.965.684.672,00	265.989.488,00	20.371.354,44	1.531.042,16	9.584.178,36	1.576.490,57	2.273.898.399,60	296.435.376,46
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	252.642.693,76	24.724.630,34	11.400.937,99	908.654,76	21.314.797,11	2.561.381,21	1.960.868.368,00	266.227.356,00	20.371.354,44	1.531.042,16	9.584.178,36	1.576.490,57	2.276.172.329,60	297.519.555,04
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	298.273.959,31	28.645.623,04	13.305.241,78	1.060.427,77	24.875.017,24	2.977.539,56	1.965.684.672,00	265.989.488,00	20.371.354,44	1.531.042,16	19.202.312,76	4.190.738,57	2.341.712.557,53	304.394.859,10
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	303.472.312,26	29.290.789,53	13.966.018,54	1.113.251,08	26.114.121,61	3.125.660,36	1.960.868.368,00	266.227.356,00	20.371.354,44	1.531.042,16	19.202.312,76	4.190.738,57	2.343.986.487,61	305.479.037,70
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados														
UNITE														
PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (100 años)		MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL		
MADRID	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Cerramiento	195.151.441,34	18.831.591,22	10.250.959,17	817.001,45	19.164.836,70	2.294.030,95	1.842.269.184,00	248.001.738,00	20.818.631,28	1.745.909,64	13.968.926,16	2.046.040,08	2.091.623.978,65	273.736.311,34
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	189.801.378,20	19.408.693,90	10.843.814,27	864.252,00	20.273.217,98	2.426.704,19	1.838.821.824,00	248.317.746,00	20.818.631,28	1.745.909,64	13.968.926,16	2.046.040,08	2.094.527.791,89	274.809.345,81
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	177.728.219,29	18.105.419,02	10.566.644,23	842.320,95	19.756.769,65	2.365.124,73	1.842.269.184,00	248.001.738,00	20.818.631,28	1.745.909,64	23.567.060,56	4.660.288,08	2.094.730.509,01	275.720.800,42
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	182.378.156,15	18.682.521,70	11.161.499,33	889.571,50	20.867.150,93	2.497.797,97	1.838.821.824,00	248.317.746,00	20.818.631,28	1.745.909,64	23.567.060,56	4.660.288,08	2.097.634.322,25	276.793.834,89
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados														
ENSANCHE														
PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (100 años)		MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL		
MADRID	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Cerramiento	185.418.279,14	19.560.187,73	11.042.440,49	880.082,51	20.644.562,66	2.471.154,15	1.841.579.712,00	252.394.440,00	23.473.964,76	2.473.053,80	18.156.597,60	2.496.280,80	2.100.315.556,65	280.275.198,99
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	188.715.847,20	19.969.448,21	11.452.872,02	913.590,90	21.430.586,82	2.565.241,24	1.838.821.824,00	252.493.839,00	23.473.964,76	2.473.053,80	18.156.597,60	2.496.280,80	2.102.061.692,40	280.914.453,95
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	178.905.912,74	18.923.119,66	11.321.157,25	902.296,23	21.165.641,81	2.533.527,33	1.841.579.712,00	252.394.440,00	23.473.964,76	2.473.053,80	27.774.732,00	5.110.528,80	2.104.221.120,56	282.336.965,82
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	182.203.480,80	19.332.380,14	11.741.588,77	935.804,63	21.951.665,97	2.627.614,42	1.838.821.824,00	252.493.839,00	23.473.964,76	2.473.053,80	27.774.732,00	5.110.528,80	2.105.967.256,30	282.973.220,79
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados														
CIUDAD DISPERSA														
PRODUCCION		TRANSPORTE		CONSTRUCCION		USO (100 años)		MANTENIMIENTO		DEMOLICION		TOTAL		
MADRID	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)	Energía (MJ)	Emisiones CO ₂ (kg)
Cerramiento	435.724.916,34	44.882.516,20	20.631.358,49	1.644.319,27	36.571.670,21	4.617.028,92	2.826.835.200,00	386.719.099,00	149.159.463,08	16.252.523,52	62.800.237,92	7.292.379,36	3.533.722.846,04	461.407.866,27
Estructura de Acero y Cerramientos Ligeros	452.911.702,29	47.015.564,57	22.822.629,90	1.818.963,60	42.668.395,03	5.107.406,88	2.806.151.040,00	386.910.619,00	149.159.463,08	16.252.523,52	62.800.237,92	7.292.379,36	3.536.513.468,22	464.397.456,93
Estructura de Acero y Cerramientos Pesados	421.517.143,08	43.492.649,62	21.239.408,76	1.692.780,88	39.708.459,86	4.753.102,65	2.826.835.200,00	386.719.099,00	149.159.463,08	16.252.523,52	72.418.372,32	9.906.627,36	3.530.878.047,10	462.816.783,03
Estructura de H.A. y Cerramientos Ligeros	438.703.929,03	45.625.697,98	23.430.680,17	1.867.425,21	43.805.184,67	5.243.480,61	2.806.151.040,00	386.910.619,00	149.159.463,08	16.252.523,52	72.418.372,32	9.906.627,36	3.533.668.669,27	465.806.373,68
Estructura de H.A. y Cerramientos Pesados														

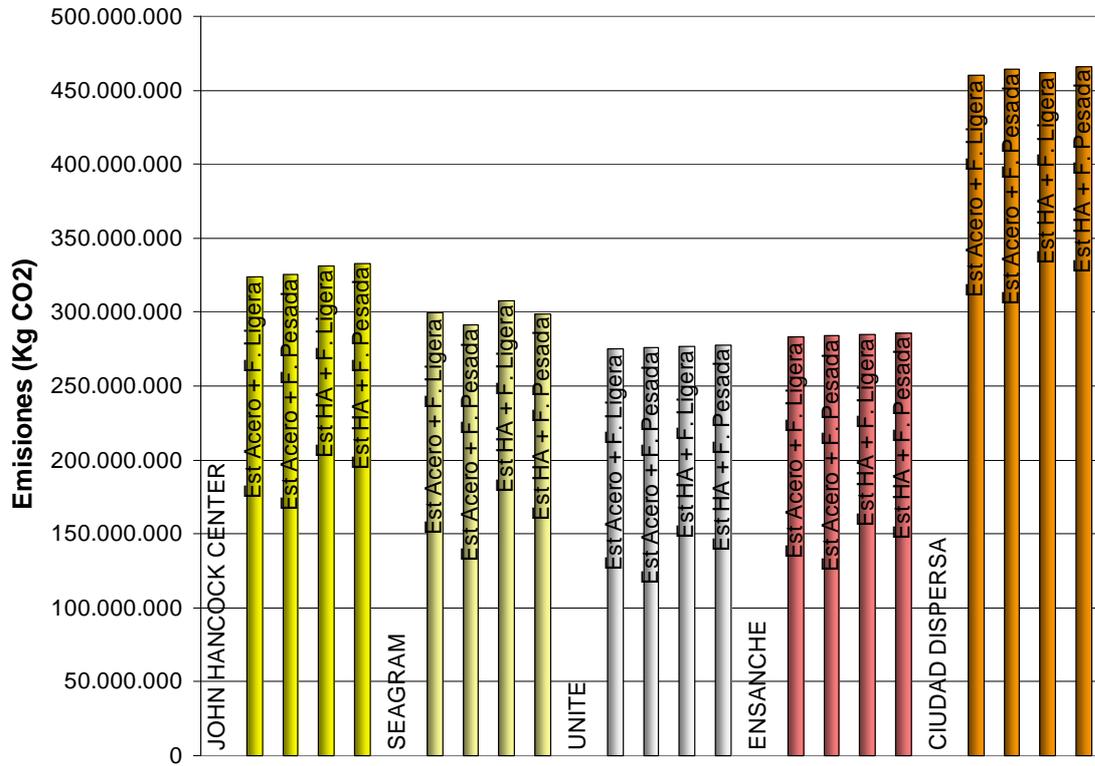
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 100 AÑOS- BARCELONA



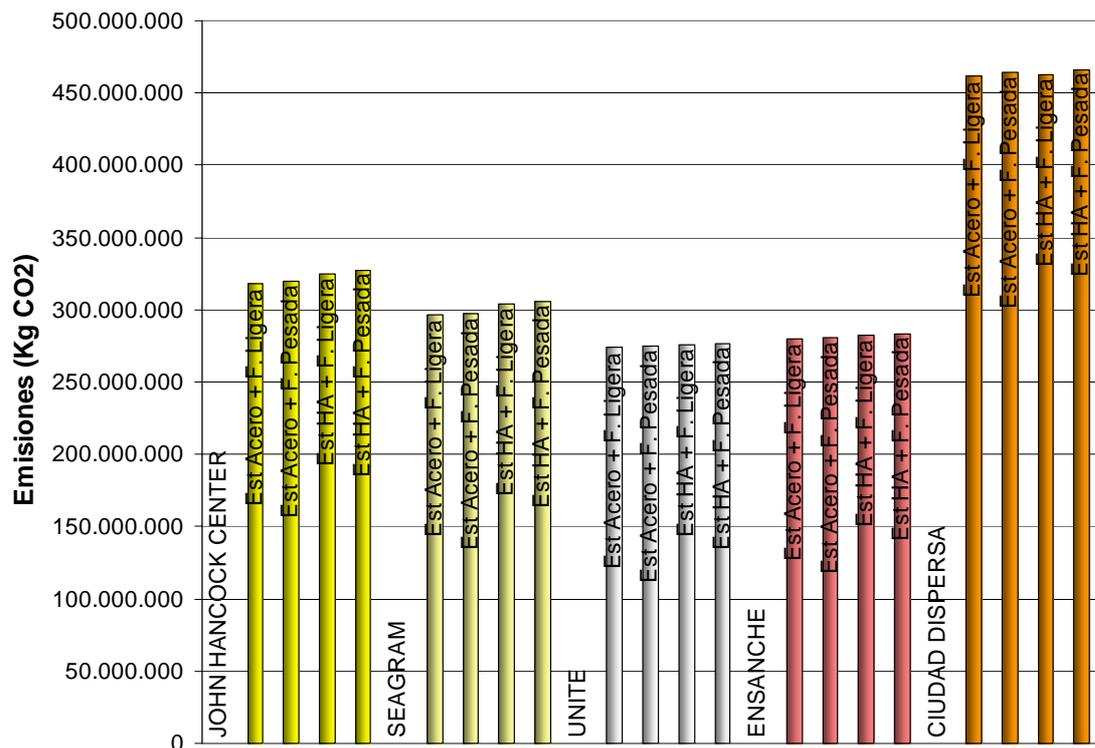
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 100 AÑOS- MADRID



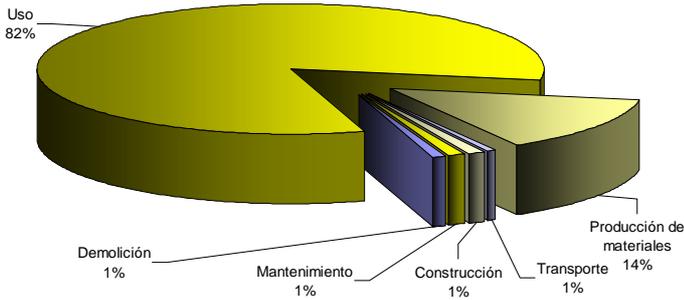
CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 100 AÑOS- BARCELONA



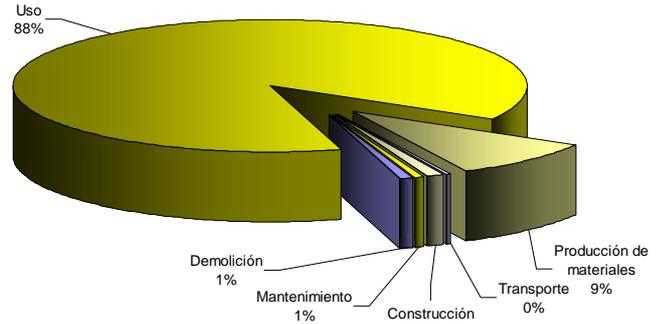
CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LOS 5 TIPOS EDIFICATORIOS - 100 AÑOS- MADRID



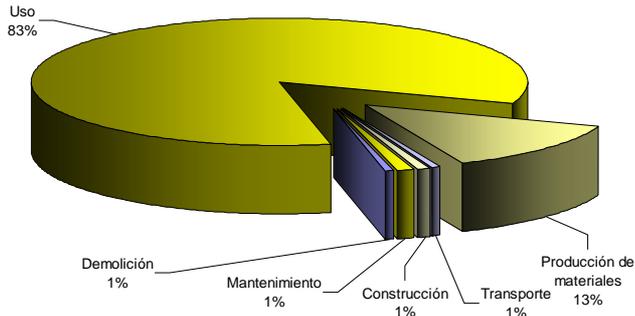
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL JOHN HANCOCK CENTER - 100 AÑOS- BARCELONA



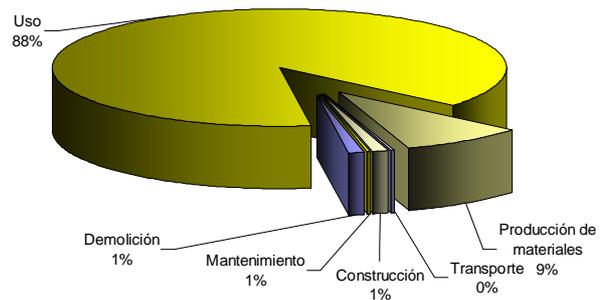
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL JOHN HANCOCK CENTER - 100 AÑOS- BARCELONA



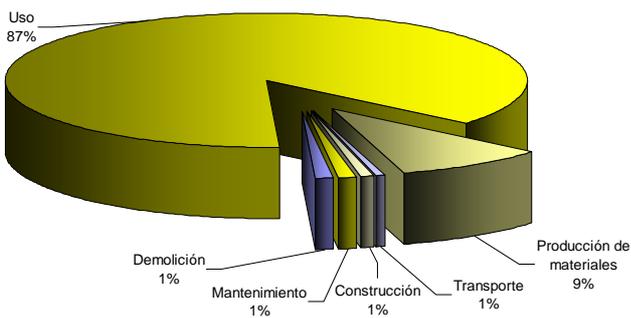
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL SEAGRAM - 100 AÑOS- BARCELONA



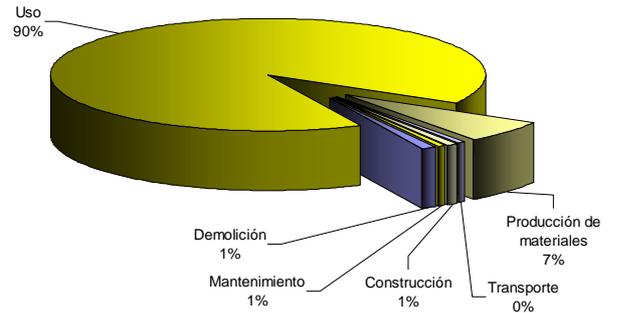
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL SEAGRAM - 100 AÑOS- BARCELONA



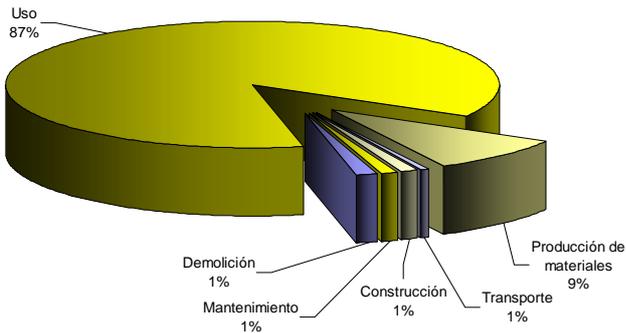
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DE LA UNITE - 100 AÑOS- BARCELONA



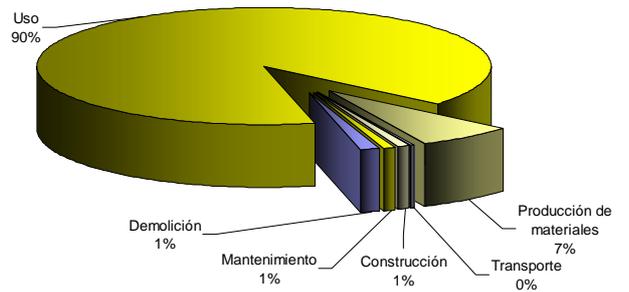
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DE LA UNITE - 100 AÑOS- BARCELONA



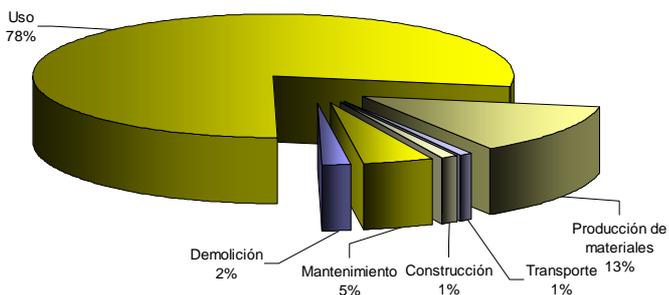
CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DEL ENSANCHE - 100 AÑOS- BARCELONA



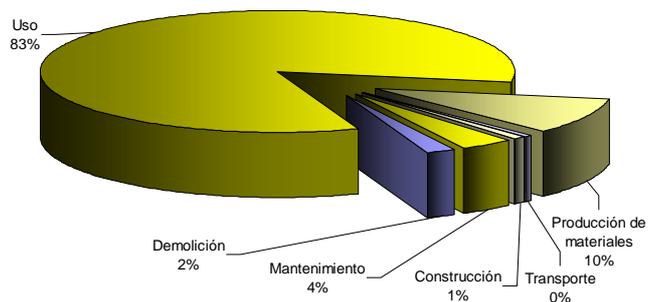
CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DEL ENSANCHE - 100 AÑOS- BARCELONA



CUADRO RESUMEN ENERGIA MEDIA EN EL ACV DE LA CIUDAD DISPERSA - 100 AÑOS- BARCELONA



CUADRO RESUMEN EMISIONES MEDIAS EN EL ACV DE LA CIUDAD DISPERSA - 100 AÑOS- BARCELONA



CONCLUSIONES:

Del estudio del impacto ambiental y energético en el ACV de los 5 tipos edificatorios podemos extraer las siguientes conclusiones:

1. Respecto a los tipos edificatorios: durante todo el ciclo de vida útil, el modelo de ciudad dispersa es el que genera un impacto ambiental mayor en energía y emisiones de CO₂, un 68,94% más que los modelo Unité y Ensanche, que son los más sostenibles. El impacto ambiental del modelo Ensanche es un 0,41% superior al del modelo Unité, una diferencia prácticamente nula. Los dos rascacielos, el JHC y el Seagram dan unos resultados de energía y emisiones superiores a los de la Unité en un 16,43% y 8,71% respectivamente. Por tanto, los rascacielos, pese a quedar en la 3º y 4º posición en la clasificación de los tipos más sostenibles, no tienen una diferencia excesiva con el primero.
2. Respecto a las diversas fases del ciclo de vida: de los gráficos con los porcentajes de cada fase en cada una de las etapas del ciclo de vida, podemos deducir que el uso es la fase que más peso tiene a lo largo de todo el ciclo de vida útil del edificio. Al cabo de 100 años representa entre un 78-87% del total de energía y emisiones de todos los tipos. La fase de producción de materiales tiene mucha importancia en los primeros años de vida del edificio, pero a partir de los 25 años de vida útil deja de tener tanto peso en favor del uso que entonces ya representa un porcentaje de entre el 54-68% del total del impacto ambiental. Dado que el uso es la fase más decisiva en el ciclo de vida, los edificios que menos contacto tienen con el exterior, es decir, los más compactos, son los que menos impacto ambiental producen. De ahí que los modelos Unité y Ensanche, con el coeficiente de forma (relación entre superficie de fachada y volumen) más bajo sean los mejores.
3. Coeficiente de forma: Pese a tener el modelo Ensanche un coeficiente de forma notablemente inferior al del modelo Unité (0,074 y 0,1069, respectivamente), el impacto ambiental de ambos es casi idéntico. Esto se debe a la mejor orientación del modelo Unité, con mucha más superficie de fachadas a norte y sur, con la consiguiente mejora de respuesta térmica, que compensa esa diferencia de coeficiente de forma.

4. Respecto al tipo de estructura: al cabo de 100 años, el impacto ambiental derivado del uso de una estructura de acero o de hormigón armado es prácticamente el mismo. En los primeros 25 años de vida útil sí tiene mucha incidencia el tipo de estructura elegida, sin embargo, a partir de los 50 años en adelante cada vez el porcentaje de su repercusión sobre el impacto ambiental total es menor, llegando a los 100 años a representar entre un 6-12% del impacto ambiental total.

De todos modos, se puede concluir que, como se ha visto en el apartado correspondiente a la energía y emisiones derivadas de la producción y extracción de materiales, los edificios con estructura de acero, dado su alto coste energético para la fabricación del acero (20 veces más que la del hormigón), tienen un mayor impacto ambiental que los de hormigón armado en todos los tipos estudiados excepto en los rascacielos. En los rascacielos de hormigón armado se produce un aumento importante en la cuantía de acero de sus estructuras para reforzarlos debido a las altas solicitaciones estructurales a las que están sometidos, por lo que su incidencia aumenta hasta el punto de invertir la balanza y hacer que las estructuras de hormigón armado de estos edificios tengan un mayor impacto ambiental que las de acero.

También es importante señalar que aunque los costes energéticos de fabricación de las estructuras de acero son altos, no lo son los de su reciclaje, que puede hacerse indefinidamente. Para disminuir el impacto de las estructuras de acero, éstas deben ser proyectadas con uniones fácilmente desmontables (atornilladas, no soldadas) y con medidas estándar de sus componentes, lo que garantizaría su reutilización. En este caso, un edificio con estructura de acero tendría un impacto menor que uno de hormigón armado.

Por consiguiente, el grado de sostenibilidad del edificio según su estructura dependerá, en primer lugar de si ésta es reciclada, reutilizada o hecha "desde cero" y en segundo lugar, del tipo de edificio que vayamos a construir.

5. Respecto a las ciudades del emplazamiento (Madrid y Barcelona): de los resultados obtenidos, se puede concluir que se requiere más energía en Madrid que en Barcelona para todos los tipos.

En lo que se refiere a las emisiones, sucede al revés, aunque en muchos casos son prácticamente idénticos. Si nos fijamos en los gráficos por estaciones,

vemos claramente el motivo: excepto en verano, en primavera y otoño se necesita más refrigeración en Barcelona que en Madrid, con la consiguiente mayor producción de emisiones de CO₂.

6. Respecto al tipo de fachada, ligera o pesada: podemos concluir que los edificios con fachadas pesadas al cabo de 100 años tienen un impacto ambiental mayor que las ligeras. Pese a que las fachadas pesadas tienen un mayor aislamiento térmico de sus cerramientos, el mayor coste de extracción, producción, transporte, puesta en obra y uso para mantener el confort higrotérmico hacen que su impacto ambiental sea mayor que el de las ligeras.

CAPÍTULO 4. LA SOSTENIBILIDAD A ESCALA URBANA DEL EDIFICIO EN ALTURA

- 4.1 PREFACIO
- 4.2 EL RASCACIELOS COMO MODELO URBANO COMPACTO.
 - 4.2.1 LA INSOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL DEL MODELO DE CIUDAD DISPERSA.
 - 4.2.2 LA SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL DEL RASCACIELOS COMO MODELO URBANO DE CIUDAD COMPACTA.
 - 4.2.3 RESUMEN COMPARATIVO DE LAS REPERCUSIONES MEDIOAMBIENTALES DE LOS MODELOS DE CIUDAD COMPACTA Y DE CIUDAD DISPERSA.
- 4.3 EL RASCACIELOS COMO GENERADOR DE ESPACIOS VERDES.
 - 4.3.1 ALGUNOS CASOS DE RASCACIELOS GENERADORES DE ESPACIOS VERDES.
 - 4.3.2 FORMAS DE IMPLANTACIÓN.
 - 4.3.3 BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA COMBINACIÓN DE EDIFICACIÓN EN ALTURA Y ESPACIOS VERDES.
 - 4.3.4 RESUMEN DE LAS REPERCUSIONES MEDIOAMBIENTALES DE LA EDIFICACIÓN EN ALTURA GENERADORA DE ESPACIOS VERDES.

4.1 PREFACIO.

La ciudad, inmersa en un territorio con un suelo, un clima, una vegetación, no la constituyen únicamente los edificios. Personas, edificios y medio ambiente deben considerarse conjuntamente para un desarrollo más armónico del planeta.

A diferencia del capítulo antecedente en el que se ha estudiado el impacto ambiental y energético del rascacielos y otros modelos por sí mismos, en este capítulo el objetivo es analizar la sostenibilidad del rascacielos en relación con su entorno, a una escala mayor, a escala urbana, observando las implicaciones y consecuencias que de su implantación se derivan y los beneficios que puede aportar a la ciudad.

Las sostenibilidad medioambiental del rascacielos en relación con la ciudad la estudiaremos en una doble dirección: por un lado, las ventajas medioambientales que se derivan del rascacielos como modelo compacto y complejo de ciudad y por otro lado, las ventajas que provienen del rascacielos como herramienta capaz de aportar una nueva y mejor relación entre la naturaleza y la ciudad.

En el momento actual, en que la ciudad tiende a ocupar el territorio circundante de una forma desconocida históricamente, mediante urbanizaciones extensivas de baja densidad, propiciadas por la generalización en el uso del automóvil privado, los problemas tienden a agudizarse de una forma notable. En la mayor parte de Europa occidental, la práctica totalidad del paisaje está ya antropizado a niveles muy altos de forma que difícilmente se puede hablar ya de medio natural: habría que referirse a medio urbano con mayor o menor implantación.

Si seguimos en esta dirección es muy probable que lleguemos a un punto de no retorno. Para evitar esta situación, no nos queda otra opción que construir un nuevo tipo de relaciones entre la naturaleza y lo urbano, valorando la repercusión que las actividades urbanas tienen sobre su entorno y buscando una interrelación más armoniosa entre ellos.

Vista de la ciudad de Sao Paulo, en Brasil.



4.2 EL RASCACIELOS COMO MODELO URBANO COMPACTO.

“A medida que el hombre se multiplica y su tecnología domina la tierra, la organización del suelo se hace más importante para la calidad de vida. Ahora incluso se teme que la tecnología pueda amenazar la continuidad de la vida. La contaminación empeora el sistema viviente. El deterioro del paisaje es perjudicial para nosotros; en cambio, un emplazamiento bien estudiado puede ayudarnos. Un hábitat bien organizado y productivo es una fuente de riqueza para la humanidad, tanto como puede serlo la energía, el aire o el agua.”¹

Este texto de Kevin Lynch pone de manifiesto la importancia que tiene el urbanismo y la ordenación del territorio, y las consecuencias que de su buen o mal hacer se derivan.

En este apartado estudiaremos las consecuencias medioambientales del modelo de ciudad dispersa², también conocida como “urban sprawl”³, ciudad difusa⁴, ciudad región⁵, ciudad sin confines o ciudad ilimitada⁶, megaciudad, hiperciudad⁷, metápolis⁸ o “ciudad de las 100 millas”⁹; frente a las aportaciones medioambientales del rascacielos como elemento integrado en un modelo urbano compacto y complejo.

4.2.1 LA INSOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL DEL MODELO DE CIUDAD DISPERSA.

A pesar de haber visto en el capítulo anterior que el modelo de ciudad dispersa es el menos sostenible de todos, es el prototipo cada vez más extendido. El desenfreno territorial que estamos padeciendo deriva en gran parte del modelo de ciudad dispersa y supone un desgaste para nuestro territorio de consecuencias nefastas y probablemente irreversibles.

Las principales consecuencias medioambientales derivadas del modelo de ciudad dispersa son:

¹ Lynch, Kevin; *Planificación del sitio*. Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1980.

² Monclús, F.J. (Ed.) (1998): *La ciudad dispersa*. Barcelona, Centre de Cultura Contemporània de Barcelona, 223 p.

³ White, W.H.(1993): “Urban sprawl”, en Whyte, W.H. (Ed.) *The exploding metropolis* (1958), Foreword by Sam Warner Jr. London: University of California Press (Classics in Urban History, 1)

⁴ Indovina, F. (Ed.) (1990): *La città diffusa*, Venecia, Daest.

⁵ Sambricio, C. (1999): *Madrid, Ciudad-Región*. Vol. I *De la ciudad ilustrada a la primera mitad del siglo XX*, Madrid, 195 p.

⁶ Nel.lo, O. (1998): “*Los confines de la ciudad sin confines. Estructura urbana y límites administrativos en la ciudad difusa*”, en Monclús, pp. 35-58.

⁷ Corboz, A. (1995): “L’iper città”, *Urbanística*, 103 (cit. Por Monclús 1998).

⁸ Portas, N. y Domínguez, A. (1998): “La Región Atlántica Norte de Portugal: ¿metrópolis o metápolis?”, en Monclús, pp. 197-218.

⁹ Sudjic, D. (1992): *The 100 mile city*. London: Flamingo/Harper Collins.

1. Aumento del consumo energético y emisiones asociados a la movilidad

Tal y como explica Salvador Rueda ¹⁰ en referencia al modelo de crecimiento del área metropolitana de Barcelona, el modelo de ciudad difusa provoca una simplificación o pérdida de estructura organizada de los fragmentos de ciudad mediterránea, compacta y compleja.

Su lógica perturba la complejidad consolidada, simplifica el tejido urbano, sustituyendo actividades y usos diversos por otras actividades y usos homogeneizadores del territorio. En este marco, los usos y las funciones se separan en el territorio, obligando a los ciudadanos a desplazarse con medios motorizados, sobre todo en vehículo privado, para realizar cualquier actividad cotidiana: trabajo, estudio, compra, ocio, etc. El consumo energético en la ciudad difusa se dispara y la movilidad es la causa principal.

El hombre, el organismo más complejo que conocemos, funciona con una potencia energética de entre 120 y 150 W, es decir, la potencia de una bombilla doméstica y con ella camina, trabaja, estudia, hace el amor,...

Por otro lado, la potencia energética de un coche mediano como puede ser un Volkswagen Golf, es de 115 CV, es decir, 84.568 W, lo que representa una potencia 704 veces superior a la potencia energética de una persona. Este dato, traducido, quiere decir que la energía que se gasta para que una persona vaya en coche de casa al trabajo o a la universidad equivale a la energía que emplean 704 personas haciendo ese mismo trayecto a pie en el mismo periodo de tiempo.

Por consiguiente, realizar cualquier tarea propia de la vida ciudadana en coche supone un consumo energético varios cientos de veces superior a realizarla a pie. Además, la energía empleada yendo a pie es energía renovable que no aumenta la entropía, mientras que la energía utilizada en el vehículo es no renovable (combustibles fósiles) y de impacto considerable en los sistemas de la tierra.

Los datos existentes sobre las distintas áreas metropolitanas muestran claramente que hay un gran aumento de la movilidad, desplazamientos del empleo y desplazamientos de personas a viviendas periféricas. En Cataluña, por ejemplo, entre 1986 y 1996 el número de desplazamientos extramunicipales en la provincia de Barcelona aumentó en un 70%, y hoy salen a trabajar fuera de su municipio uno de cada dos empleados ¹¹. Según datos de la

¹⁰ Rueda, Salvador; *Barcelona, ciudad mediterránea, compacta y compleja. Una visión de futuro más sostenible*. Ed. Ayuntamiento de Barcelona, Barcelona, 2002.

¹¹ Nel.lo, O., Lopez, J. y Piqué, J.M. (2002): "Las redes emergentes de articulación del territorio en la región de Barcelona: un análisis de la movilidad obligada, 1986-1996", en Subirats, pp. 201-221.

encuesta de Consumo de la Cámara de Comercio ¹², en 2005, en Madrid, el 60% de los desplazamientos de trabajo eran en coche. Sobre otras áreas metropolitanas del continente se tienen suficientes datos que muestran no solo el aumento de la movilidad en la periferia, sino también el hecho de que ésta se realiza esencialmente en automóvil privado, lo cual está incrementando gravemente la contaminación ¹³.

En la naturaleza, tanto el proceso evolutivo como la sucesión de los ecosistemas están vinculados al aumento de la eficiencia en el consumo de recursos. Los que no cumplen esta ley, acaban desapareciendo.

El camino hacia la sostenibilidad pasa por aumentar la eficiencia en el uso de los recursos perturbando lo menos posible los ecosistemas.

Es necesario, pues, articular estrategias y modelos de movilidad que busquen la proximidad de usos y funciones urbanas de manera que los viajes a pie o en bicicleta aumenten en relación a los porcentajes actuales incrementando de esta forma la eficiencia energética de la movilidad y la disminución de emisiones tóxicas en las ciudades.

2. Aumento en el consumo del suelo y pérdida de suelo fértil y verde

El consumo de suelo de la ciudad difusa es ingente, aunque no aumente la población. En las grandes metrópolis españolas, según Salvador Rueda ¹⁴, en 20 años (desde los 70 a los 90) se ha consumido más suelo para usos urbanos que en los 2.000 años anteriores. En la Región Metropolitana de Barcelona se han consumido 26.000 ha entre los años 1972 y 1992; en el resto de la historia anterior sólo se habían consumido 20.000 ha. Los Planes Generales de Urbanismo Municipales han aprobado en estos últimos tiempos una ocupación futura de suelo urbanizable de más de 30.000 ha más.

Hoy nos encontramos con muchos territorios en los que hay una infinidad de actividades dispersas en el suelo no urbano, como si fuera una perdigonada con miles de impactos, lo que dificulta enormemente la diferenciación entre suelo urbano y suelo rural, entre campo y ciudad. Esta no distinción entre campo y ciudad es el peligro principal para ordenar este desenfreno territorial actual, además del daño estético que infringe al paisaje.

¹² Cámara de Comercio de Madrid. Marzo 2005. Disponible en: <http://www.camaramadrid.es>

¹³ Roussel, I. (2001): "L'ozone des villes et l'ozone des champs. Ou les relations ambiguës entre pollution atmosphérique et périurbanisation", *Géocarrefour. Revue de Géographie de Lyon*. Vol. 76, nº4, pp. 327-338.

¹⁴ Rueda Palenzuela, Salvador. *Ecología urbana: Barcelona i la seva regió metropolitana com a referents*. Ed. Beta, Barcelona, 1995.

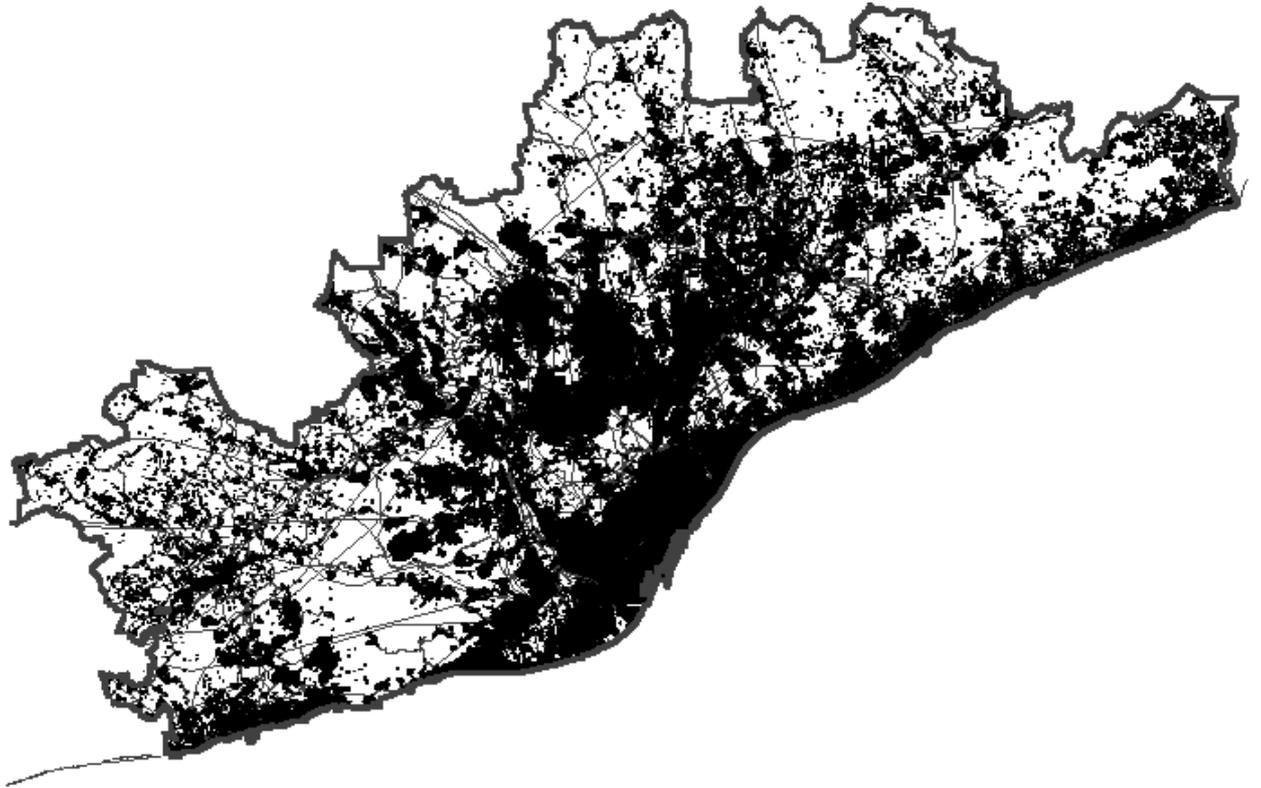


Fig. 4.1. Espacio ocupado por suelo urbano, suelo urbanizable, usos periurbanos, redes de transporte y red de energía eléctrica del Área Metropolitana de Barcelona. Fuente: PTMB, 1992.

En la Carta Europea para la energía solar en la arquitectura y el urbanismo ¹⁵ se denuncia que *"las explotaciones intensivas indiscriminadas, la destrucción asociada a la extracción de materias primas, así como la reducción en todo el mundo de las superficies agrícolas, están causando la desaparición progresiva de los hábitats naturales."*

Tal y como se deduce de los datos extraídos del estudio de la evolución del espacio forestal y agrícola en la región metropolitana de Barcelona ¹⁶, las consecuencias ambientales de la destrucción de suelo fértil son la pérdida de superficie agraria, forestal, cultivada, de pastos y otros usos y una degradación del territorio por culpa de la decadencia de la actividad agrícola. Además, debido al marco legal y al régimen de la propiedad privada, el paso de suelo fértil a urbano es prácticamente irreversible una vez ejecutado.

Esta ocupación del suelo libre conlleva una paulatina desaparición de los espacios verdes, otro de los fenómenos preocupantes en nuestras regiones.

¹⁵ 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, p. 62.

¹⁶ Clusa, J. Características y previsiones socioeconómicas al Plan Especial de la cordillera Marina, AMB, 1991.

Debemos recordar la necesidad que tenemos de estos espacios libres como elementos de equilibrio a escala local y planetaria de las funciones ecológicas que la actividad humana introduce. Hacen falta más masas vegetales que produzcan oxígeno, regulen el CO₂, permitan la ventilación y compensen los desequilibrios climáticos introducidos en los núcleos urbanos.

Los sistemas naturales y agrícolas son también reservorio de recursos naturales porque tienen un enorme potencial como zonas de abastecimiento de alimentos, de agua, de aire limpio, de madera, de materiales ecológicos y vegetales, de suelo,...es con el cuidado de los sistemas naturales que nos proveen de recursos cómo aseguramos nuestro presente y nuestro futuro. Son, con la ciudad compacta, nuestro capital fijo más importante.

3. Fragmentación del territorio y pérdida de biodiversidad

La conformación en las últimas décadas de la ciudad dispersa, y con ella la aparición masiva de vehículos privados, ha proyectado una red de movilidad por carretera que ha ido desplegando una malla en el conjunto del territorio cada vez más tupida e imbricada.

*"Se crea una especie de circuito sin fin, donde el crecimiento urbano en las intervías hace que la capacidad de las vías se saturen, justificando la construcción de una nueva vía segregada, que da lugar a nuevas intervías que dan lugar a nuevos asentamientos los cuales llegan a saturar de nuevo el conjunto de vías segregadas y que justifican..."*¹⁷

Este despilfarro de suelo y de energía ya ha sido ensayado en otros países occidentales que ahora ya tienen la congestión de tráfico instalada en un radio de 100 e incluso 200 kilómetros en algunos casos.

Por otro lado, esta malla de carreteras supone un aislamiento de los sistemas naturales cada vez mayor, provocando de esta forma una simplificación y degradación de su estructura viva. Asimismo, aísla los sistemas naturales provocando una pérdida de especies irremediablemente, que será mayor en la medida en que se vayan cerrando y empequeñeciendo los lados de la malla. La reducción de la superficie natural de un hábitat o su aislamiento comporta una pérdida de especies ya que la extinción supera la inmigración. Se ha comprobado que esta pérdida de especies es más rápida en islas o reservas pequeñas y más lenta en las grandes¹⁸.

¹⁷ Rueda, Salvador, (1995) Op. Cit.

¹⁸ Gorman, M.L. *Ecología Insular*, Ed. Vestrà, Barcelona, 1991.

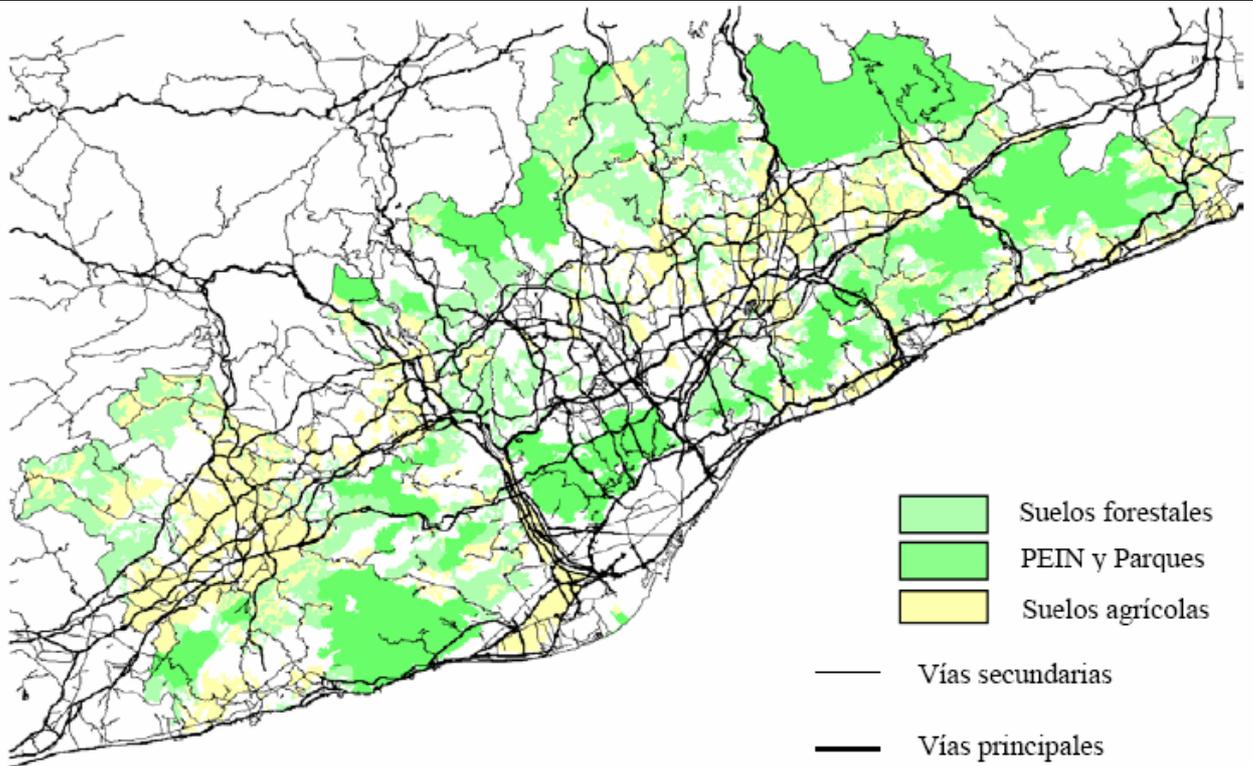


Fig. 4.2. Mapa de red de carreteras y espacios libres del Área Metropolitana de Barcelona. Fuente: PTMB, 1992.

Aunque este tema sobrepasa la extensión de la tesis, es importante comentar que la nueva ciudad dispersa va segregando a la población que accede a una determinada urbanización según su capacidad económica. Esta separación drástica de rentas (en otras ciudades la separación se concreta también por razas, religión, etc.) en el territorio es motivo, cada día más de inseguridad y de actos de desobediencia civil. Ciudades como Los Ángeles, Londres o los “banlieue” de las ciudades francesas, nos muestran el tipo de problemas sociales que esta separación conlleva.

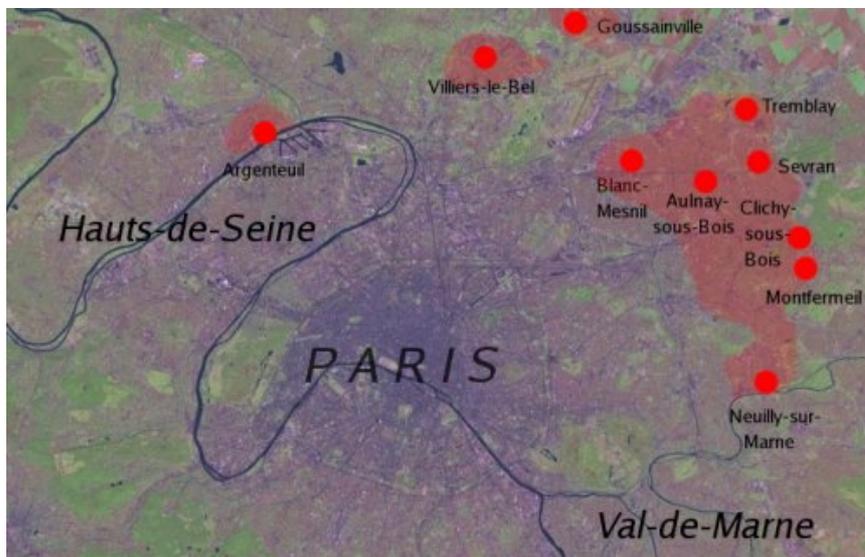


Fig.4.3 Mapa de los “banlieue” (suburbios) de París en los que hubo importantes quemadas de coches y disturbios en el año 2005.

4. Impermeabilización del suelo y sus consecuencias

La ocupación creciente de suelo dedicado a infraestructuras, urbanizaciones, periurbanos e invernaderos propia de las ciudades dispersas hace que la velocidad de una gota de agua caída en cualquier punto de la cuenca hasta llegar al mar vaya aumentando en proporción a la ocupación del suelo, tal y como explica Salvador Rueda Palenzuela ¹⁹, director y fundador de la Agencia Local de Ecología Urbana de Barcelona. Esta velocidad se ve aumentada en la medida en que se van canalizando los cauces, con caudales cada vez mayores, proporcionalmente a la ocupación.

En las ciudades costeras mediterráneas, la canalización de las cuencas incide negativamente en un aspecto estratégico para el desarrollo de la región: el aumento de velocidad de caída de esta agua al mar. Debemos desarrollar medidas para que el agua caída en cualquier cuenca del área haga el recorrido más largo y lento posible antes de llegar al mar. De esta forma se podrían evitar gran parte de las inundaciones y riadas que cada año padecemos y aprovechar mejor el agua, factor limitante de nuestro desarrollo.

La canalización de los ríos incide también en la pérdida de biodiversidad que tan floreciente es cuando los lechos del río no están artificializados y el río está suficientemente limpio.

A su vez, el aumento de la vivienda unifamiliar con el elevado consumo de agua que esta tipología comporta hace que se vaya apropiando del agua de las cuencas, reduciendo, de esta forma, el volumen de agua que los ecosistemas terrestres necesitan. Todos los organismos necesitan agua para vivir. La apropiación humana del agua que ha sido siempre patrimonio de los sistemas terrestres tiene consecuencias importantes, como la cantidad y las dimensiones de los incendios forestales.

Esta apropiación reduce el nivel de evapotranspiración y exudación de los sistemas forestales, reduciendo a su vez, la humedad relativa del bosque que, como es sabido, es la mejor barrera contra el fuego. Si esta reducción coincide con un período de sequía prolongado, solo se necesita la chispa, que suele provenir de prácticas urbanitas en el bosque: vehículos todoterreno, colillas de cigarrillos, desechos, etc. o también de intereses por urbanizar o líneas eléctricas.

Cuando el estrés hídrico se manifiesta, algunas plantas del bosque mediterráneo (particularmente, las coníferas) suelen emitir sustancias hidrocarbonadas olorosas que tienen

¹⁹ Rueda, Salvador, (1995) Op. Cit.

un índice de inflamabilidad elevado, potenciando aún más las condiciones para el inicio de un incendio y, cuando este empieza, propiciando su propagación en áreas extensas.

El impacto ecológico y ambiental de los incendios es terrible ya que destruye parte de los sistemas vivos y potencia la debilidad de nuestros suelos y su biofertilidad, aumentando los procesos de erosión y pérdidas de suelo, dificultando la retención del agua, etc. La combinación de una mala calidad de las aguas vertidas con una apropiación excesiva de agua es nefasta, también para los sistemas marinos, que como se sabe, se nutren del agua del continente para desarrollarse. Más del 95% de la vida marina se concentra en la plataforma continental ya que los organismos del mar se alimentan en gran parte de los aportes nutrientes provenientes de tierra adentro.

5. Aumento del consumo de agua y el mantenimiento

El consumo de agua y materiales derivados de la ciudad dispersa también aumentan significativamente; la importación del estilo de vida americano de casa unifamiliar con piscina es demandante de más energía para calentarlas o refrigerarlas (casas expuestas a los cuatro vientos), más materiales (el mantenimiento en una casa aislada es mayor) y más agua, pues todo el mundo aspira a tener piscina y el jardín de césped bien regado.

Los consumos domésticos urbanos de agua se mueven en valores cercanos a los 125-150 litros por persona y día, valores que aumentan considerablemente en los modelos suburbanos en que pueden llegar a valores medios superiores a 350 litros si existen jardines con especies vegetales inadecuadas ²⁰. En EE.UU., donde la mayoría de la población vive en urbanizaciones dispersas de baja densidad con jardín individual, este dato se dispara, situando la media de consumo de agua en 594,18 l/persona/día ²¹.

Imagen del urbanismo disperso de baja densidad típico de EE.UU. Littleton, Denver, EE.UU.



²⁰ Libro Verde del medio ambiente urbano. Ministerio de Medio Ambiente. Marzo 2007. Pág. 91

²¹ Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern, *Water Resources Management* 21(1). 2007. pp. 35-48.

Table 3 Composition of the water footprint for some selected countries. Period: 1997–2001

Country	Population	Use of domestic water resources					Use of foreign water resources			Water footprint	
		Domestic water withdrawal (Gm ³ /yr)	Crop evapotranspiration*		Industrial water withdrawal		For national consumption		For re-export of imported products (Gm ³ /yr)	Total (Gm ³ /yr)	Per capita (m ³ /cap/yr)
			For national consumption (Gm ³ /yr)	For export (Gm ³ /yr)	For national consumption (Gm ³ /yr)	For export (Gm ³ /yr)	Agricultural goods (Gm ³ /yr)	Industrial goods (Gm ³ /yr)			
Australia	19071705	6.51	14.03	68.67	1.229	0.12	0.78	4.02	4.21	26.56	1393
Bangladesh	129942975	2.12	109.98	1.38	0.344	0.08	3.71	0.34	0.13	116.49	896
Brazil	169109675	11.76	195.29	61.01	8.666	1.63	14.76	3.11	5.20	233.59	1381
Canada	30649675	8.55	30.22	52.34	11.211	20.36	7.74	5.07	22.62	62.80	2049
China	1257521250	33.32	711.10	21.55	81.531	45.73	49.99	7.45	5.69	883.39	702
Egypt	63375735	4.16	45.78	1.55	6.423	0.66	12.49	0.64	0.49	69.50	1097
France	58775400	6.16	47.84	34.63	15.094	12.80	30.40	10.69	31.07	110.19	1875
Germany	82169250	5.45	35.64	18.84	18.771	13.15	49.59	17.50	38.48	126.95	1545
India	1007369125	38.62	913.70	35.29	19.065	6.04	13.75	2.24	1.24	987.38	980
Indonesia	204920450	5.67	236.22	22.62	0.404	0.06	26.09	1.58	2.74	269.96	1317
Italy	57718000	7.97	47.82	12.35	10.133	5.60	59.97	8.69	20.29	134.59	2332
Japan	126741225	17.20	20.97	0.40	13.702	2.10	77.84	16.38	4.01	146.09	1153
Jordan	4813708	0.21	1.45	0.07	0.035	0.00	4.37	0.21	0.22	6.27	1303
Mexico	97291745	13.55	81.48	12.26	2.998	1.13	35.09	7.05	7.94	140.16	1441
Netherlands	15865250	0.44	0.50	2.51	2.562	2.20	9.30	6.61	52.84	19.40	1223
Pakistan	136475525	2.88	152.75	7.57	1.706	1.28	8.55	0.33	0.67	166.22	1218
Russia	145878750	14.34	201.26	8.96	13.251	34.83	41.33	0.80	3.94	270.98	1858
South Africa	42387403	2.43	27.32	6.05	1.123	0.40	7.18	1.42	2.10	39.47	931
Thailand	60487800	1.83	120.17	38.49	1.239	0.55	8.73	2.49	3.90	134.46	2223
United Kingdom	58669403	2.21	12.79	3.38	6.673	1.46	34.73	16.67	12.83	73.07	1245
USA	280343325	60.80	334.24	138.96	170.777	44.72	74.91	55.29	45.62	696.01	2483
Global total/avg.	5994251631	344	5434	957	476	240	957	240	427	7452	1243

* Includes both blue and green water use in agriculture

Fig. 4.4: Cuadro de consumo de agua y de huella ecológica relacionada con el agua en distintos países del mundo en el período 1997-2001. Fuente: Hoekstra et Al. (2007) ²²

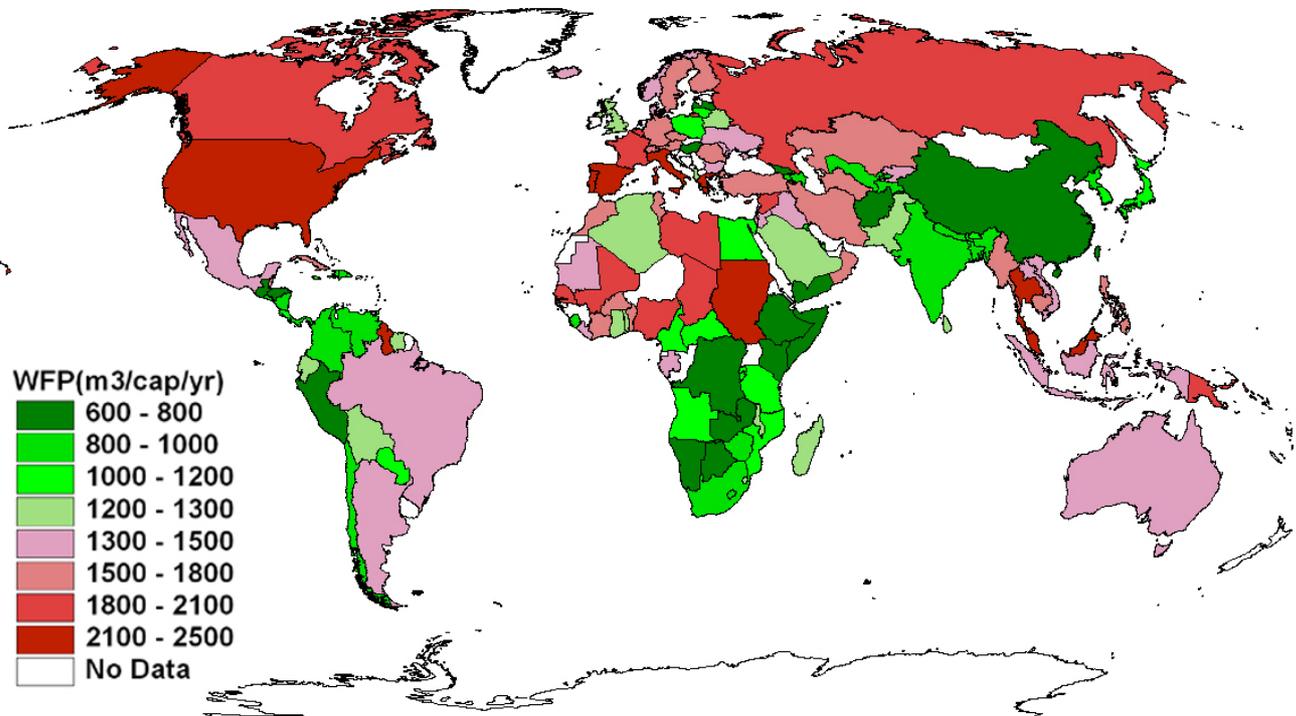


Fig. 4.5: Cuadro de consumo de agua y de huella ecológica relacionada con el agua en distintos países del mundo. Fuente: Hoekstra et Al. (2007) ²³

²² Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. Op. Cit.

El siguiente cuadro adjunto ²⁴ sintetiza para la región de Madrid las fuertes tasas de crecimiento que viene observando en el consumo de suelo, energía y materiales que superan ampliamente al moderado crecimiento demográfico.

LA EXPLOSIÓN DE LA CONURBACIÓN MADRILEÑA
Tasas de crecimiento de las exigencias de suelo, energía y materiales

	Variación anual en porcentaje (se duplica cada)	
SUELO		
Estimación propia (80-01)	4,00%	(18 años)
Corine L.C. (91-01)	3,70%	(20 años)
Planeamiento (90-02)	3,80%	(19 años)
ENERGÍA		
Electricidad (84-01)	4,90%	(15 años)
Combustibles fósiles (81-01)	3,60%	(20 años)
MATERIALES		
Por carretera (84-01)	4,00%	(18 años)
Por ferrocarril (84-01)	-1,30%	
Por avión (84-01)	3,80%	(19 años)
Total materiales (84-01)	3,60%	(20 años)
POBLACIÓN (91-01)	0,90%	(80 años)

Por otro lado, el mantenimiento de las infraestructuras de transporte (carreteras, transporte público), de suministro de luz, gas, agua, etc. es creciente en la medida en que crece el modelo de ciudad difusa.

Otro dato significativo es que el aumento de vehículos privados se traduce en una congestión viaria que reduce la eficacia del transporte público de superficie. En Madrid, por ejemplo, la velocidad comercial de los autobuses urbanos fue en 2004 de 13,95 km/h ²⁵, lo que significa una pérdida enorme de su eficacia y atractivo para los usuarios, además de un sobrecoste gigantesco para la empresa explotadora, téngase en cuenta que en ausencia de congestión la velocidad comercial podría elevarse por encima de los 20 km/h lo que significa que con el mismo número de vehículos y conductores se podría ofrecer casi un 50% más de servicios.

²³ Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. Op. Cit.

²⁴ Cuadro de síntesis elaborado a partir de la información sobre el metabolismo y la ocupación del suelo de Madrid contenida en NAREDO, J.M. y FRÍAS, J. (2003) "Metabolismo económico de la conurbación madrileña (1984-1991)", Economía Industrial, nº 351, pp. 87-114.

²⁵ "Informe Anual 2004". Empresa Municipal de Transportes de Madrid, S.A. Madrid, 2005.

4.2.2 LA SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL DEL RASCACIELOS COMO MODELO URBANO DE CIUDAD COMPACTA.

El rascacielos, como modelo urbano de ciudad compacta, es capaz de mejorar algunos aspectos de la sostenibilidad de la ciudad actual y las condiciones de vida de sus habitantes.

La tendencia a la verticalización ya había sido anunciada y propuesta por el arquitecto y músico Iannis Xenakis en su *Ciudad Cósmica*²⁶, escrita en Berlín en 1964. En ella señalaba las consecuencias negativas que las formas de urbanización extensiva tenían sobre el territorio, abogaba por una decidida política de concentración, proponiendo de manera explícita el paso a la ciudad vertical cuya altura podría alcanzar varios miles de metros, en torres sin un excesivo espesor para facilitar la aireación e insolación. Esa ciudad vertical podría ocupar una superficie mínima de terreno en relación a su población, con densidades de 2.500 a 3.000 habitantes por hectárea, y se caracterizaría por la movilidad vertical a través de ascensores y aceras o calles rodantes, con la desaparición de cualquier medio de locomoción individual y sobre ruedas.

Un ejemplo histórico de ciudad compacta hecha a base de rascacielos lo constituye Shibam del Hadramaut, nombre de un bello emplazamiento aislado en medio del desierto situado en Yemen, cuya ciudad Antigua y muralla fueron declarados Patrimonio de la Humanidad en 1982. Esta histórica urbe fue creada en el siglo II a.C, siendo la ciudad con rascacielos más antigua del mundo. En sus característicos «mini-rascacielos» de entre 5 y 11 pisos viven unos 7.000 habitantes.



Vista de la ciudad de Shibam del Hadramaut

²⁶ Xenakis, I. (1970): “La ciudad cósmica”, en Choay, pp. 410-418.

Apodada cariñosamente como «El Manhattan del desierto», el conjunto de estos edificios es considerado por la Unesco el ejemplo más antiguo y mejor conservado de planificación urbana basado en el principio de construcción vertical: rascacielos en el desierto. Un conjunto de edificaciones se levanta de la arena del desierto desafiando la gravedad y emitiendo destellos dorados.



Vista de la ciudad de Shibam del Hadramaut

Fue la riqueza del incienso la que contribuyó a levantar uno de los más extraordinarios ejemplos de la arquitectura local que luego se repetirá en otras ciudades de Yemen como Kawkaban o el casco antiguo de Sanaa. Sin ninguno de los sólidos materiales que siglos después permitirían la construcción de rascacielos, utilizando tan sólo adobe y troncos de palmera, alzaron torres de hasta once pisos sobre cimientos de piedras.

La principal razón por la cual se hicieron viviendas verticales fue por una férrea intención defensiva, ya que se debían proteger de los constantes ataques beduinos. De esta forma, se pudo hacer la ciudad en el menor espacio posible. De hecho, la idea de los arquitectos fue construir una ciudad que no superara los 350.000 m², superficie que a día de hoy se conserva.

Los edificios en Shibam cumplen con un ordenamiento único, donde cada piso está destinado a una labor específica. Frecuentemente, el primer piso se ocupa como almacén de alimentos. El segundo es para los animales, usado como un establo dentro de los edificios. El tercer piso está destinado a zona de descanso al género masculino, mientras que el cuarto es

donde se encuentra la cocina siendo la planta designada a las mujeres. Más arriba hay un espacio para la familia, y por último, los siguientes pisos son para los hijos y familiares; una auténtica ciudad vertical.



Detalle de los rascacielos de Shibam del Hadramaut

A continuación vamos a enumerar las principales aportaciones medioambientales del rascacielos a la ciudad:

1. Disminución del consumo energético y de emisiones asociados a la movilidad

El rascacielos permite concentrar mucha superficie en un punto, aumentando así la densidad y compacidad, lo que sumado a la diversidad de usos (complejidad), facilita que los usos y funciones que se dan en las ciudades estén mucho más cercanos, por lo que los desplazamientos entre el trabajo, la casa, el ocio, etc. en vehículo privado se reducen, haciendo posible que se puedan hacer a pie, en bicicleta o con transporte público. De esta forma conseguimos que disminuya el consumo energético asociado el uso de vehículos privados, además de reducirse considerablemente la contaminación atmosférica producida por los mismos.

Hoy en día hay numerosos casos de rascacielos en los que se han concentrado diversidad de usos con la consiguiente reducción de distancias y tiempos de desplazamiento entre ellos.

CASO 1: MARINA CITY TOWERS:

Las Marina City Towers, del arquitecto Bertrand Goldberg (Chicago, 1959-67), constituyen un buen ejemplo de la concentración de diversos usos en un mismo edificio. En ellas se albergan oficinas, teatro, áreas deportivas (piscinas, boleras y pistas de patinaje sobre hielo) y comerciales, aparcamiento y viviendas. Las viviendas aparecen en la parte superior como terminal vertical de dos redes-la fluvial, accesible desde un embarcadero sobre el río Chicago y la viaria, con un aparcamiento helicoidal en las primeras 20 plantas de los edificios. Situadas en pleno centro de Chicago, fueron construidas con la intención de permitir a la gente trabajar y vivir en el centro de la ciudad, sin tener que desplazarse a los suburbios residenciales. Se quiso construir “una ciudad dentro de una ciudad”, un complejo donde las diferentes funciones se reforzaban y sostenían mutuamente las 24 horas. El complejo fue una reacción contra la zonificación de un solo uso, la única que se permitía entonces y que Goldberg veía como poco económica e insostenible.



Vista de las Marina City Towers, Chicago.
Foto del autor.

Apartamentos

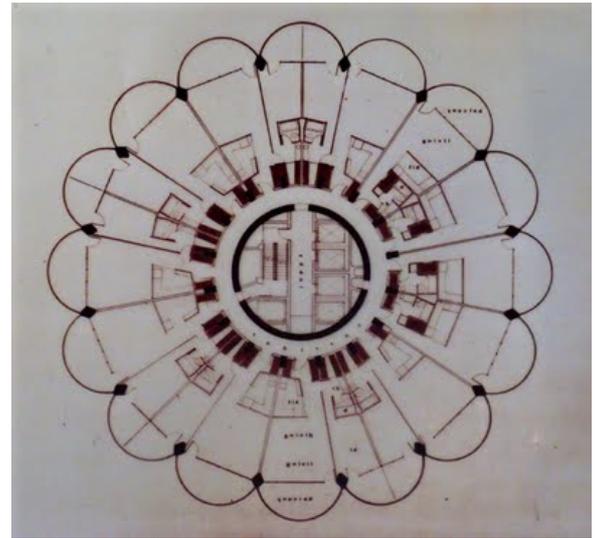
Aparcamientos

Restaurante

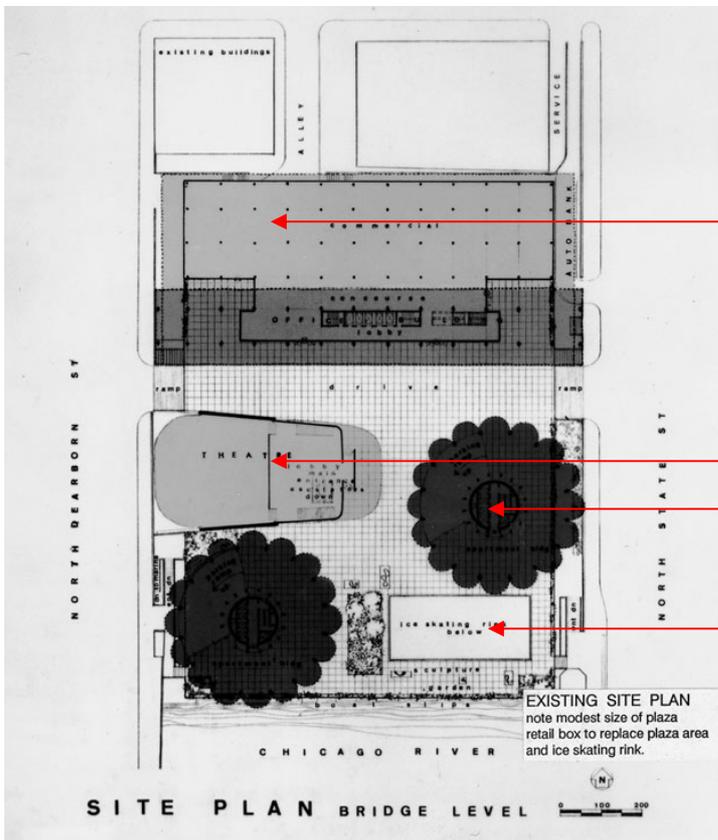
Muelle deportivo



Vista de un apartamento de las plantas superiores.



Planta de apartamentos



Comercios

Teatro

Torre de apartamentos

Pista de patinaje

Plano original de edificios con los diversos usos. Fuente: www.bertrandgolberg.org

En 1974, sólo el 2% de los residentes trabajaba aún en el complejo, sin embargo, el 80% de ellos estaba a una distancia cercana. Con los años, la propiedad de las torres cambió y a raíz de la crisis económica de 1979 el complejo se dividió. Más tarde, los pisos fueron vendidos como apartamentos de alquiler, los comercios se transformaron en un hotel y la pista de patinaje en un restaurante. A pesar de todos los cambios que hubo y la pérdida de unidad del conjunto, el complejo sigue ofreciendo hoy muchos servicios distintos en pleno corazón de Chicago.

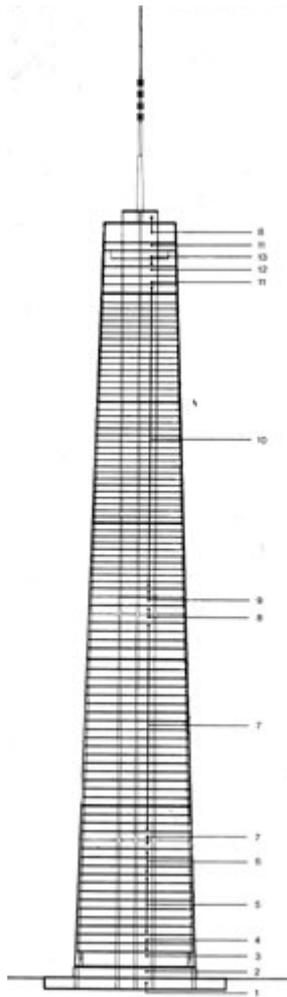
CASO 2: JOHN HANCOCK CENTER:

Otro bello ejemplo de rascacielos en el que se da una gran concentración vertical de diversas funciones es el John Hancock Center de los arquitectos SOM: Skidmore, Owings & Merrill (Chicago, 1968). Está compuesta por comercios, aparcamientos, oficinas, plantas técnicas, apartamentos, viviendas, telecomunicaciones y restaurantes.

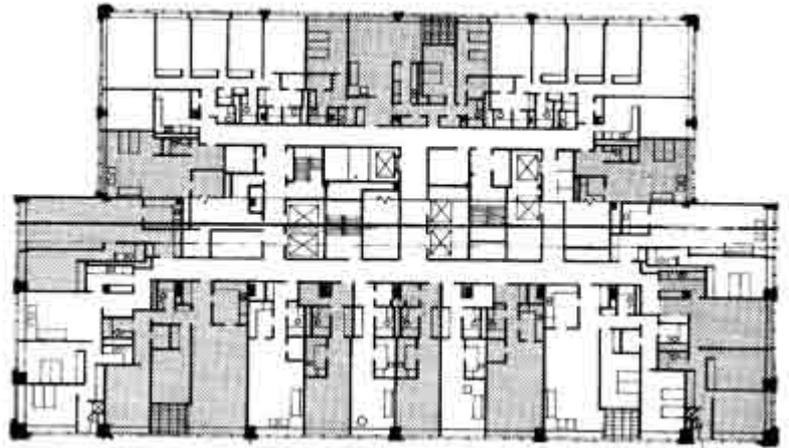
Fue el primer rascacielos “autosuficiente” y la primera corroboración construida de las tesis expuestas de Ciudad Vertical. Con el John Hancock, la sección adquiere un papel protagonista, condensador de los problemas derivados de la acumulación vertical de usos. Si la ciudad histórica se reconoce a través de su planta, el recurso de la tercera dimensión hace de la sección el elemento característico y esencial en la organización de las nuevas ciudades verticales.



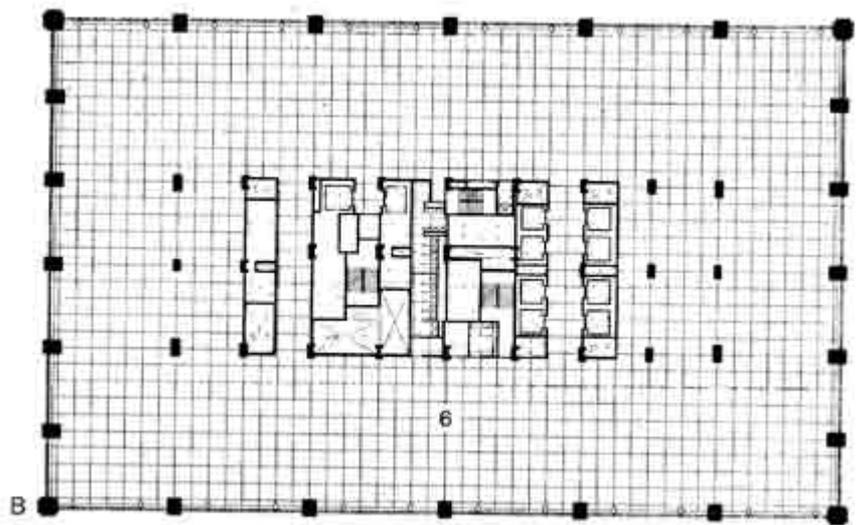
Vista del JHC desde el lago Michigan.



Sección transversal



Planta tipo de apartamentos



Planta tipo de oficinas

Frente al urbanismo de dos dimensiones de la ciudad dispersa, en la que todo lo que acontece se limita únicamente al plano horizontal y en el que la única posibilidad de desarrollo pasa por ampliar su superficie en planta, el modelo de ciudad compacto y denso con rascacielos ofrece la posibilidad de proyectar un urbanismo en tres dimensiones, proyectando en el plano de altura los diversos usos y funciones que albergue, en el plano de subsuelo una conexión con un transporte público como el metro que haga posible su funcionamiento y por supuesto en el plano de superficie, con un zócalo en las primeras plantas que garantice los encuentros y la vida a pie de calle de la ciudad.

No hay que olvidar que la ciudad ha surgido siempre en el cruce de los caminos...

Por otra parte, podemos apoyarnos en múltiples informes y estudios extraídos de diversas publicaciones respecto a la disminución del consumo energético y de emisiones asociados a la movilidad:

* ESTUDIO DE ROBERT PAEHLKE:

Según un estudio de Robert Paehlke ²⁷, existe una relación entre el consumo de gasolina y la densidad urbana de las ciudades. La relación entre el consumo de gasolina y la densidad urbana en las grandes ciudades de todo el mundo se ilustra en las fig. 4.6 y 4.7 y demuestra claramente las implicaciones de la forma urbana en el uso energético.

Houston (Texas, EE.UU.), con aproximadamente 8 personas/hectárea, usa cuatro veces y media más gasolina que Copenhague, con una densidad de 30 personas/hectárea. En el extremo de la escala, el consumo de gasolina de Houston es unas cinco veces el de Hong Kong, con 300 personas/hectárea.

<i>Ciudad</i>	<i>Consumo de gasolina por persona (megajoules)</i>	<i>Densidad total de población (personas por hectárea)</i>	<i>Densidad de población interurbana (personas por hectárea)</i>	<i>Densidad total de puestos de trabajo (puestos de trabajo por hectárea)</i>	<i>Densidad de puestos de trabajo en la ciudad interior (puestos de trabajos por hectárea)</i>	<i>Viajes en automóvil privado (por persona, kilómetros)</i>
Ciudades estado-unidenses¹						
San Francisco	58.541	14	45	7	30	12.507
Chicago	55.365	16	59	8	48	13.200
	48.246	18	54	8	26	11.122
Ciudades australianas¹						
Melbourne	29.849	14	24	6	27	10.680
Sydney	29.104	16	29	6	40	10.128
	27.986	18	39	8	39	9.450
Gran Toronto	34.813	40	57	20	38	9.850
Ciudades europeas¹						
Frankfurt	13.280	54	91	31	79	5.595
Estocolmo	16.093	54	63	43	74	6.810
París	15.574	51	58	34	62	6.570
	14.091	48	106	22	60	4.199
Ciudades asiáticas¹						
	5.493	160	464	71	296	1.799

- Notas:* 1 Los datos dados para las ciudades estadounidenses, australianas, europeas y asiáticas en la tabla son el porcentaje de las ciudades en las regiones estudiadas por Newman y Kenworthy. Los datos reflejan resultados de diez ciudades estadounidenses, cinco australianas, y doce europeas. Los datos asiáticos son de las tres ciudades "occidentalizadas" de Asia: Tokyo, Singapur y Hong Kong
- 2 *Interpretación:* El punto hasta el cual la gente elige emplear el automóvil privado está en función directa con la densidad urbana. Las ciudades que son más compactas son significativamente menos dependientes de los automóviles. Los residentes en las ciudades de EE.UU. conducen sus coches, en porcentaje, dos o tres veces más que los residentes de las ciudades europeas. Toronto está a medio camino entre una típica ciudad estadounidense y una típica ciudad europea en este análisis.

Fig. 4.6: Consumo de gasolina y densidades urbanas en las mayores ciudades del mundo.

²⁷ Paehlke, Robert. *The Environmental Effects of Intensification*, preparado para la Municipal Planning Policy Branch. Ministry of Municipal Affairs, 1991. Extraído de "Canadian Urban Institute Housing Intensification, Policies Constraints and Challenges". Toronto 1: Canadian Urban Institute, 1990.

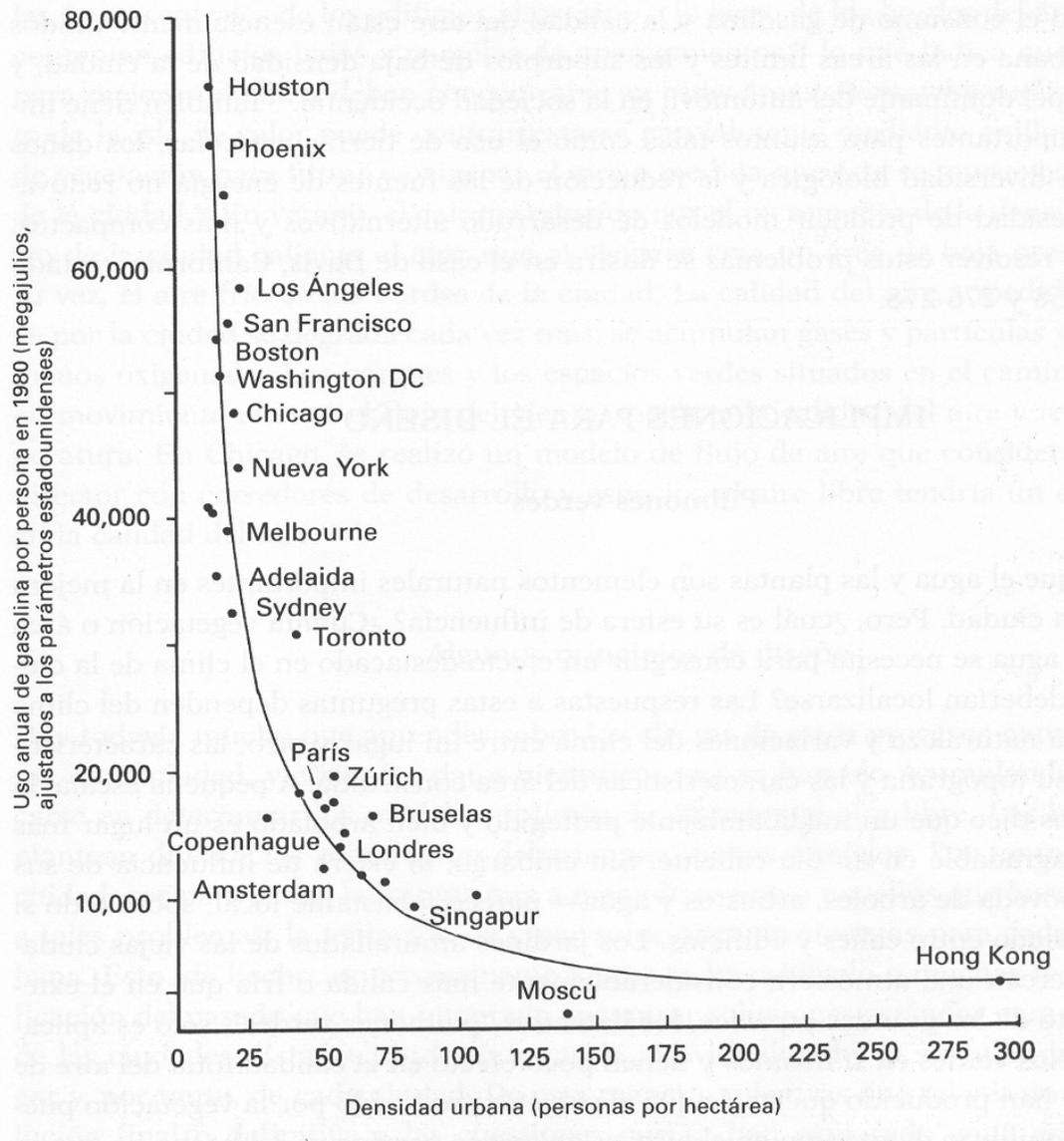


Fig. 4.7: Consumo de gasolina y densidades urbanas en las mayores ciudades del mundo.²⁸

* INFORME DEL INSTITUTO WORLDWATCH:

En referencia a la relación entre densidad urbana y consumo de gasolina en vehículos privados, un informe sobre el futuro de la ciudad realizado por el Instituto Worldwatch ²⁹ ha mostrado que los residentes del centro de la ciudad de Nueva York usan solamente un tercio de la gasolina que los residentes que viven en las zonas exteriores del área metropolitana de los estados de Nueva York, Nueva Jersey y Connecticut; los residentes de Manhattan emplean solo 400 litros de gasolina por cápita cada año, un nivel de consumo cercano al de las ciudades europeas.

²⁸ Paehlke, Robert (1990) Op. Cit.

²⁹ Brown, Lester y Jacobson, Jodi L. *The Future of Urbanization: Facing the Ecological and Economic Constraints*. Washington D.C. Worldwatch Institute, 1987.

* ESTUDIO DE KENWORTHY Y LAMBE:

En el siguiente cuadro ³⁰ se puede ver el consumo energético per cápita en distintos países del mundo y su relación con la densidad, % de desplazamientos a pie, en bici y en transporte público y las emisiones por habitante

Densidad, medio de transporte elegido, consumo energético y emisiones per cápita, 1999

<i>Región</i>	<i>Densidad (hab/ha)</i>	<i>Desplazamientos a pie, en bicicleta y en transporte público (%)</i>	<i>Consumo anual de energía (Mjulios/hab)</i>	<i>Emisiones (CO, SO₂, NO_x, COV) por habitante (kg)</i>
EE.UU. y Canadá	18.5	14	51,500	237
Oceanía	15	21	30,500	189
Europa Occidental	55	50	16,500	88
Europa Central y Oriental	71	72	8,000	89
Asia (ciudades prósperas)	134	62	11,000	31
Asia (otras ciudades)	190	68	6,000	84
Oriente Medio	77	27	15,500	215
África	102	67	6,500	148
América Latina	90	64	11,500	118

Fuente: Kenworthy y Laube (2001).

En el cuadro se observa, por ejemplo, que las regiones asiáticas, con una alta proporción de desplazamientos a pie, en bicicleta y en transporte público y con una densidad poblacional alta, de 134 hab/ha, tenían un nivel de emisión per capita de 31 kg/hab, muy inferior a los 237 kg/hab emitidos en los Estados Unidos y Canadá, donde la densidad poblacional es de tan solo 18,5 hab/ha.

A continuación aportamos algunos datos más que nos dan una idea de la importancia de la energía que se gasta en el transporte con vehículos privados:

Según Thomas Herzog ³¹, una persona que conduzca más de 10 km. al día con un coche de gama media consume tanta energía primaria como la que consumiría en su casa.

La proximidad de usos y funciones urbanas en la ciudad compacta permite que el transporte público tenga la masa crítica para mantenerse y ofrecer un servicio regular, cómodo y próximo, lo que sumado a la reducción del transporte privado conlleva un aumento del uso y de la eficacia del transporte público, en bicicleta o a pie, incrementando así la eficiencia energética de la movilidad urbana, tal y como podemos deducir del cuadro siguiente, donde se muestra el consumo de cada tipo de transporte. De todos ellos, los públicos son los más eficientes, siendo el automóvil el menos sostenible.

³⁰ Kenworthy, Jeff y Felix Laube (2001), Millennium Cities Database for Sustainable Transport (1999-2001), UITP, Bruselas.

³¹ Herzog, T. *Solar Energy in Architecture and Urban Planning*, Prestel, Munich, 1996. p. 32.

MEDIO	POR VIAJERO	POR PLAZA
Automóvil	6,19	2,85
Autobús	1,46	0,84
Tren alta velocidad	4,83	3,52
Tren largo recorrido	3,13	1,34
Tren cercanías	3,15	1,19
Tren vía estrecha	4,39	1,10
Metro	3,24	1,14
Avión	5,73	4,06

En KEP (kilogramos equivalentes de petróleo)/100 plazas o viajero por km.

Fig. 4.8: Consumo de petróleo/100 plazas por kilómetro.
Fuente: José Fariña Tojo ³²

Por tanto, el consumo de gasolina y la calidad del aire están esencialmente unidos a la forma y densidad urbana, lo que muestra el papel dominante del automóvil en la sociedad occidental, y nos invita a producir modelos urbanos de desarrollo más compactos, como el rascacielos, que vayan en la dirección de un menor consumo y contaminación. Esto es especialmente importante si tenemos en cuenta que según el World Business Council for Sustainable Transport (WBCST) ³³, en el año 2030 el sector del transporte será el principal consumidor de energía, por delante de la industria. Entonces, el mundo consumirá dos veces más energía que en la actualidad, y la mayor parte corresponderá a los países en desarrollo³⁴.

La cuestión del transporte es un argumento crucial para el desarrollo de edificaciones de alta densidad, para la existencia misma de las ciudades y para los edificios urbanos desarrollados en altura, como el rascacielos. Además, el argumento de que se necesita menos energía no sólo es aplicable a los sistemas de transporte horizontal, sino también a los de transporte vertical. Según un estudio de Von Weiszacker ³⁵, los ascensores de los rascacielos son 40 veces más eficaces energéticamente y 10 veces más eficaces en consumo de materiales que el automóvil medio de 1995.

³² Fariña Tojo, José; *La ciudad y el medio natural*. Ed. Akal, Madrid, 1998. Pág 303. ISBN: 8446010801.

³³ WBCST (World Business Council for Sustainable Transport) (2004), *Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability*, WBCST, Génova.

³⁴ Kenworthy, Jeff y Felix Laube (2001), *Op. Cit.*

³⁵ Von Weiszacker, E., A.B. Lovins, y L.H. Lovins, *Factor Four: Doubling wealth, Halving Resource Use*, Earthscan Publications Ltd., Londres, 1997.

2. Disminución de la mortalidad relacionada con la contaminación urbana

Aunque los grandes problemas del control de la calidad del aire superan el alcance de esta investigación, es por todos reconocido que de las emisiones de los vehículos deriva una gran amenaza a la salud humana y no humana en las ciudades.

De hecho, según datos publicados por el IDES (Instituto de Estudios de la Seguridad) en noviembre de 2006, la contaminación producida por los coches provoca más víctimas mortales que los propios accidentes de tráfico, en una proporción de 5 a 1. El informe, elaborado por expertos del Observatorio de Riesgo de la fundación IDES en base a datos procedentes de la Unión Europea, indica que en 2005 se produjeron 225.000 fallecimientos provocados por enfermedades relacionadas con la polución. Del total de víctimas, 15.000 fueron españolas, casi 5 veces más que el número de muertes por accidente de tráfico: 3.329. De todas las regiones españolas, Cataluña es la más afectada con entre 3.000 y 4.000 víctimas mortales por polución, especialmente las ciudades del cinturón industrial de Barcelona, con un mayor riesgo debido a la mayor concentración de tráfico, industria y población.

En México, se ha estimado que, en caso de cumplirse los programas dirigidos a la mejora de la calidad del aire en 2010, se evitarían, anualmente, más de 20.000 casos de admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias, más de 130.000 visitas a la sala de emergencias por padecimientos respiratorios y más de 20.000 ataques de asma, además de las pérdidas de productividad y bienestar ocasionadas por los daños a la salud derivadas de la mala calidad del aire urbano ³⁶.

Por tanto, la disminución de la necesidad y el uso de vehículos privados en las urbes derivado de la adopción de modelos compactos y de alta densidad como el rascacielos y la sustitución de estos transportes privados por modos de transporte poco contaminantes como el tren ligero, el metro y vehículos eléctricos favorece la calidad del aire en las ciudades y disminuye la mortalidad causada por la contaminación de los coches.

³⁶ Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Secretaría de Salud (2004), Programa para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México, México.

3. Disminución del suelo ocupado y del mantenimiento de las infraestructuras.

La adopción de un modelo de ciudad dispersa se traduce en un aumento en el porcentaje de ocupación del terreno, en las intervenciones en los ecosistemas y en la transformación del paisaje para el trazado de carreteras y autopistas. Más del 65% de la superficie de Los Ángeles -arquetipo de ciudad dispersa- está pavimentada, el 2% del territorio de EE.UU. está ocupado por el automóvil (carreteras, calles, aparcamientos), y en la UE, sólo la red vial ocupa 40.000 kilómetros cuadrados.

En general, la adopción de un modelo compacto de alta densidad como el rascacielos tiende a reducir el consumo y la ocupación del suelo libre, ya que el suelo que ocupa está mucho más concentrado. A su vez, se produce un descenso en el número y/o uso de automóviles, lo que reduce la necesidad de suelo para autopistas, carreteras, vías secundarias, zonas de aparcamiento y espacios para coches en las calles de las ciudades y el mantenimiento de las mismas. Esto permite que gran parte del territorio siga teniendo suelos fértiles y verdes con los beneficios ambientales que esto conlleva.

Por otro lado, el mantenimiento de las infraestructuras de suministro de luz, gas, agua, etc., al estar más concentrados, disminuye.

4.2.3 RESUMEN COMPARATIVO DE LAS REPERCUSIONES MEDIOAMBIENTALES DE LOS MODELOS DE CIUDAD COMPACTA Y DE CIUDAD DISPERSA

				
		IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES NEGATIVOS A ESCALA URBANA DE LA CIUDAD DISPERSA	IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES POSITIVOS A ESCALA URBANA DEL RASCACIELOS EN EL MODELO DE CIUDAD COMPACTA	
1. BALANCE ENERGETICO	1.1 GASTO ENERGÉTICO	EDIFICACIÓN	. Aumento del gasto energético en la construcción, mantenimiento y uso de los edificios al tener más superficies en contacto con el exterior.	. Disminución del gasto energético en la construcción, mantenimiento y uso de los edificios al ser más compactos y tener menos superficies en contacto con el exterior.
		TRÁFICO	. Aumento del gasto energético asociado al mayor número de desplazamientos en vehículos privados.	. Disminución del gasto energético asociado al menor número de desplazamientos en vehículos privados.
	1.2 CONTROL DEL CO2	EDIFICACIÓN	. Aumento de las emisiones de CO2 derivados de la construcción, mantenimiento y uso de los edificios al tener más superficies en contacto con el exterior.	. Disminución de las emisiones de CO2 en la construcción, mantenimiento y uso de los edificios al ser más compactos y tener menos superficies en contacto con el exterior.
		TRÁFICO	. Aumento de las emisiones de CO2 asociadas al mayor número de desplazamientos en vehículos privados.	. Disminución de las emisiones de CO2 asociadas al menor número de desplazamientos en vehículos privados.
2. OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS	2.1 RECURSOS BÁSICOS	TIERRA	. Disminución del suelo fértil y libre debido al aumento de superficies para suelo urbano y para infraestructuras.	. Mantenimiento del suelo fértil y libre debido a la optimización de superficies para suelo urbano y para infraestructuras.
		AGUA	. Mayor consumo de agua.	. Menor consumo de agua.
		AIRE	. Aumento de la contaminación ambiental derivada del mayor número de desplazamientos en automóvil.	. Disminución de la contaminación ambiental derivada del menor número de desplazamientos en automóvil.
	2.2 RECURSOS MATERIALES	NO RENOVABLES	. Mayor gasto de materiales no renovables para la construcción de los edificios debido al aumento de sus superficies. . Mayor gasto de mantenimiento de infraestructuras de gas, luz, agua, etc.	. Menor gasto de materiales no renovables para la construcción de los edificios, debido a su mayor compacidad. . Menor gasto de mantenimiento de infraestructuras de gas, luz, agua, etc.
	2.3 RECURSOS COMBUSTIBLES	NO RENOVABLES	. Aumento del consumo de recursos combustibles derivado del aumento del transporte privado y de la construcción, uso y mantenimiento de edificaciones menos compactas.	. Disminución del consumo de recursos combustibles derivado del aumento del transporte público y de la construcción, uso y mantenimiento de las edificaciones más compactas.
3. SEGURIDAD Y SALUD	3.1 RIESGOS NATURALES		. Mayor riesgo de inundaciones y riadas causadas por el aumento de las superficies impermeables y la canalización de los ríos. . Aumento del riesgo de incendios.	. Menor riesgo de inundaciones y riadas. . Disminución del riesgo de incendios.
	3.2 SALUD		. Aumento de las enfermedades respiratorias y de mortalidad asociados a las emisiones de los vehículos privados.	. Disminución de las enfermedades respiratorias y de mortalidad asociados a las emisiones de los vehículos privados.
4. CONECTIVIDAD	4.1 MOVILIDAD		. Disminución de la movilidad de transporte público, peatonal y ciclista. . Aumento de la movilidad privada y de la saturación de carreteras a distancias cada vez mayores del centro de la ciudad.	. Aumento de la movilidad de transporte público, peatonal y ciclista. . Disminución de la movilidad privada y de la saturación de carreteras.
	4.2 LOGÍSTICA		. Aumento del gasto de mantenimiento de infraestructuras de transporte (carreteras, autopistas) y disminución de la eficacia del transporte público.	. Disminución del gasto de mantenimiento de infraestructuras de transporte (carreteras, autopistas) y aumento de la eficacia del transporte público.
	4.3 REDES DE COMUNICACIÓN		. Aumento de las superficies (calles, espacios de aparcamiento y carreteras) dedicadas al transporte.	. Disminución de las superficies (calles, espacios de aparcamiento y carreteras) dedicadas al transporte.
5. REGENERACIÓN AMBIENTAL	5.1 BIODIVERSIDAD		. Mayor fragmentación del territorio, disminución de terrenos verdes y pérdida de la biodiversidad. . Pérdida de superficies forestales, cultivadas, para pastos y otros usos agrarios.	. Menor fragmentación del territorio, mantenimiento de espacios verdes y aumento de la biodiversidad. . Mantenimiento de superficies forestales, cultivadas, para pastos y otros usos agrarios.

4.3 EL RASCACIELOS COMO GENERADOR DE ESPACIOS VERDES.

Uno de los problemas recurrentes a lo largo de la historia del urbanismo ha sido la necesidad de zonas verdes y espacios libres en el interior de las ciudades.

El espacio urbano está sometido a una gran cantidad de ruidos y contaminación que reducen la presencia de flora y fauna en él, disminuyendo la vitalidad, acelerando la vejez, aminorando la biomasa y alterando la capacidad reproductora de las especies.

La evolución de la ciudad como paisaje cultural densamente edificado conlleva a la destrucción de los ecosistemas naturales y a la desaparición total de la vegetación autóctona. Incluso en los espacios libres y zonas verdes, las especies autóctonas son sustituidas por otra vegetación planificada y por plantas ornamentales no propias del lugar.

La construcción en altura se ofrece como una posible solución a esta necesidad, debido a que implica una mínima huella sobre el terreno, concentrando el volumen disperso en muy poca superficie en planta, lo que permite liberar mucho suelo en planta baja para recolonizarlo por la naturaleza, aumentando de esta forma las zonas verdes en medio de la ciudad.

Esta visión del rascacielos como instrumento generador de espacios verdes fue ya enunciada en su día por Le Corbusier ³⁷: *“El rascacielos no es un aderezo sobre el rostro de la ciudad. Lo han hecho así, y lo han hecho mal. El aderezo es un veneno urbano. El rascacielos es un instrumento. Instrumento magnífico de concentración de la población, de descongestión del suelo, de clasificación, de eficacia interior, una fuente prodigiosa para la mejora de las condiciones del trabajo, un creador de economía y, además, un creador de riqueza. [...] El rascacielos cartesiano es el milagro de la urbanización de las ciudades de la civilización mecánica. Realiza concentraciones formidables, a razón de tres o cuatro mil habitantes por hectárea. Lo hace ocupando solamente el 5% o el 7% del suelo, ¡quedando el 95% o el 93% del suelo restituido, disponible, libre para la circulación de peatones y automóviles! ¡Esas inmensas superficies libres, todo ese distrito de la ciudad comercial, se transformarán en un parque! Los rascacielos de vidrio se alzarán, límpidos, netos, como cristales en medio de las frondas de los árboles.”*

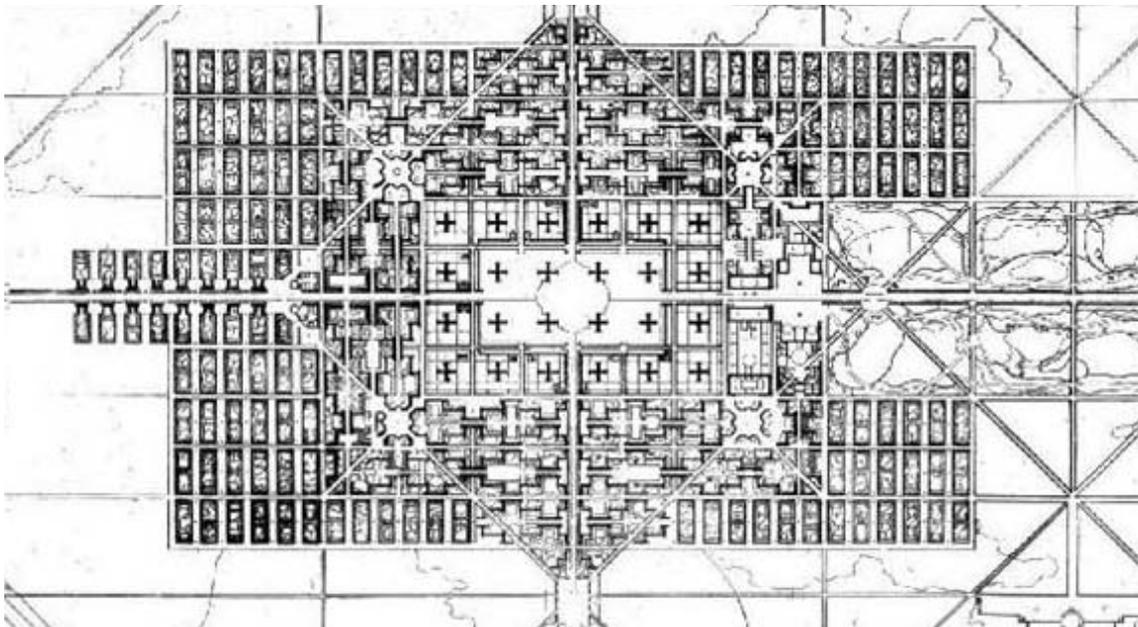
³⁷ Le Corbusier; *Cuando las catedrales eran blancas. Viaje al país de los tímidos*. Ed. Apóstrofe, Madrid, 2007. p. 107-109.

4.3.1 ALGUNOS CASOS DE RASCACIELOS GENERADORES DE ESPACIOS VERDES

Existen numerosos ejemplos en los que se combinan rascacielos con zonas verdes.

*** PROPUESTA DE LA VILLE CONTEMPORAINE DE LE CORBUSIER:**

Un ejemplo no construido de la combinación de rascacielos con zonas verdes es la propuesta de Le Corbusier de la "Ville Contemporaine" una ciudad para tres millones de Habitantes, en 1922. En ella, Le Corbusier propone Ciudades-Torre salpicadas sobre el territorio que permiten la descongestión física y el libre discurrir del viario, instalando el trabajo en el centro de esta ciudad. La parte central de la ciudad está formada por Inmeuble-Villas residenciales y su núcleo por 24 rascacielos cruciformes que alojan las oficinas con una altura de 250 a 300 m. rodeados de espacios verdes.



Dibujo en planta de Le Corbusier de la Ville Contemporaine.

El plan se basaba en cuatro principios fundamentales:

1. Descongestionamiento del centro de la ciudad.
2. Incremento de la densidad.
3. Incremento de los medios de circulación.
4. Incremento de las superficies verdes.

En el centro establecía la estación con plataforma de aterrizaje de los aviones taxi. En los ejes norte-sur y este-oeste, grandes autopistas para vehículos de circulación rápida (elevadas sobre el nivel del terreno, de 40 metros de anchura). Al pie de los rascacielos y en derredor, una plaza de 2400 x 1500 m (3.600.000 m²) cubierta de jardines, parques, etc.

En los parques, al pie y en torno a los rascacielos, restaurantes, cafés, tiendas lujosas, en construcciones con dos o tres terrazas escalonadas; teatros, salas, etc.; garajes a cielo abierto o cubierto.



Visión de Le Corbusier de la Ciudad Contemporánea con los rascacielos rodeados de espacios verdes.

En esta ciudad se evoca *"el verdadero esplendor del rascacielos cartesiano: el espectáculo tonificante, estimulante, optimista, radiante que se ofrece, desde cada oficina, a través de vidrios limpios que se abren sobre el espacio. ¡El espacio! Respuesta a las aspiraciones del ser, alivio ofrecido a la respiración del pulmón y al latido del corazón, esa emoción de ver la lejanía, desde arriba, tan vasta, infinita, ilimitada."*³⁸



Maqueta de la Ville Contemporaine.

³⁸ Le Corbusier. Op. Cit. p. 111.

*LAKE POINT TOWER, CHICAGO:

Un ejemplo realizado es el rascacielos Lake Point Tower en Chicago, de los arquitectos John Heinrich y George Shipporeit (antiguo colaborador de Mies van der Rohe), construido en 1968. Esta torre, de 197 metros de alto y 70 plantas se sitúa en un emplazamiento privilegiado, frente al lado Michigan. Fue el único edificio de esta magnitud que se ha construido en el lado derecho de la avenida Lake Shore Drive, entre ésta y el lado Michigan, rodeado de árboles y vegetación. Fue el primer rascacielos de EE.UU. con un gran jardín privado de casi 2 acres, es decir, unos 8.000 m². El rascacielos tiene una planta en forma de tres lóbulos que recuerda al rascacielos de vidrio proyectado por Mies en 1922 en Berlín.

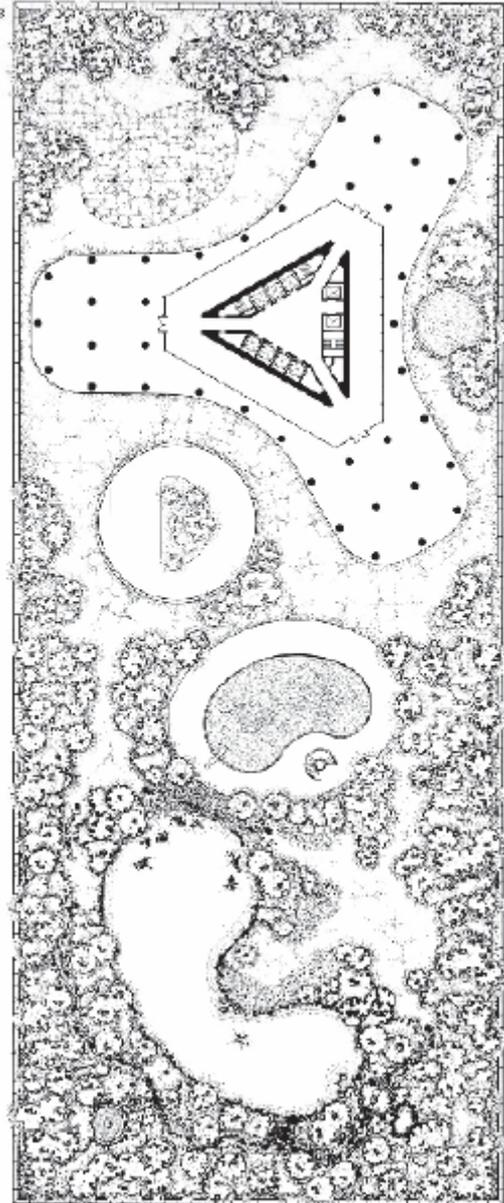


Rascacielos Lake Point Tower, Chicago.

Foto del autor.



Emplazamiento del rascacielos
Lake Point Tower frente al lago
Michigan, Chicago.



El proyecto de ajardinamiento en planta baja fue realizado por el arquitecto-paisajista Alfred Caldwell. Para el Lake Point Tower, Caldwell diseñó una naturaleza artificial, con un lago, piscina, árboles, juegos para niños y piedras al estilo pradera. Sobre este jardín elevado de la calle apoya la estructura del rascacielos, formada por pilares de hormigón armado.

El valor fundamental de este jardín reside en su carácter de pequeño oasis, lugar secuestrado de la naturaleza virgen en medio de una Megalópolis como es Chicago.

Planta del ajardinamiento y encuentro con la planta baja del rascacielos. Fuente: Casabella ³⁹.



³⁹ Bucci, Federico: Landscape gardening e architettura. Chicago, Lake Point Tower (1962-69): un giardino per una torre alla quale Mies van der Rohe ha offerto più di un modello. *Casabella*. Junio 2010. n° 790, p. 37

***JARDINES KYU SHIBA RIKYU Y WORLD TRADE CENTER DE TOKYO:**

Otro ejemplo de jardines integrados junto a rascacielos lo encontramos en Tokio, Japón, en los jardines Kyu Shiba Rikyu. Tienen una extensión de 43.000 m² y están rodeados de rascacielos, entre los que se encuentra el World Trade Center de Tokio. Los jardines originales, de mayor extensión que los actuales, datan del siglo XVII. Formaban parte de la bahía de Tokio. Se destruyeron con el fuego que se originó después del gran terremoto Kanto de 1923. Al año siguiente se reconstruyeron y corresponden a los que tenemos en la actualidad. En este caso, no fue una operación conjunta. Primero estaban los jardines y posteriormente aparecieron los rascacielos situándose entorno a estos jardines declarados en 1979 como lugar de belleza escénica y especial interés histórico.



Jardines Kyu Shiba Rikyu junto a rascacielos en Tokio, Japón.

4.3.2 FORMAS DE IMPLANTACIÓN:

La naturaleza puede hacerse presente en estos espacios verdes de las ciudades generados por los rascacielos de diversas formas. Pongamos algunos ejemplos:

- Áreas de juego y estancia: Son elementos de pequeña dimensión que tienen como finalidad resolver las necesidades más básicas de estancia y esparcimiento al aire libre de la población residente, tales como aceras, pequeñas áreas deportivas abiertas, etc.



El parque del cielo, Singapur (2011). Sobre tres rascacielos de 200 metros de altura se sitúa una plataforma horizontal con espacios verdes, de ocio y deporte.

- Jardines: Áreas ajardinadas de barrio de superficie media, dedicadas a resolver las necesidades básicas de estancia y esparcimiento de la población residente. Pueden incluir espacios para juego y el deporte al aire libre. Acostumbra a tener un tamaño superior a los 3.000 m².



Jardín urbano Hama-Rikyu en Tokio, Japón.

- Parques supralocales: Son grandes parques que sirven como elementos de transición a los parques metropolitanos y a las áreas ambientales de valor natural. Su misión es la de permitir un mayor contacto con los ciclos naturales y el mantenimiento y conservación de la biodiversidad. Se pueden localizar en ellos huertos de ocio, granjas escuela y aulas de la naturaleza.

- Parques urbanos: Son grandes áreas ajardinadas, que sirven como punto de encuentro y reposo a los habitantes del barrio-ciudad. Tiene una superficie mínima de 3 ha. Visualmente forman parte de la ciudad y son de difícil mantenimiento.



Ejemplo de parque urbano integrado con rascacielos: Central Park, 1873, Nueva York. F.L. Olmsted y C. Vaux (Sup =341 ha).

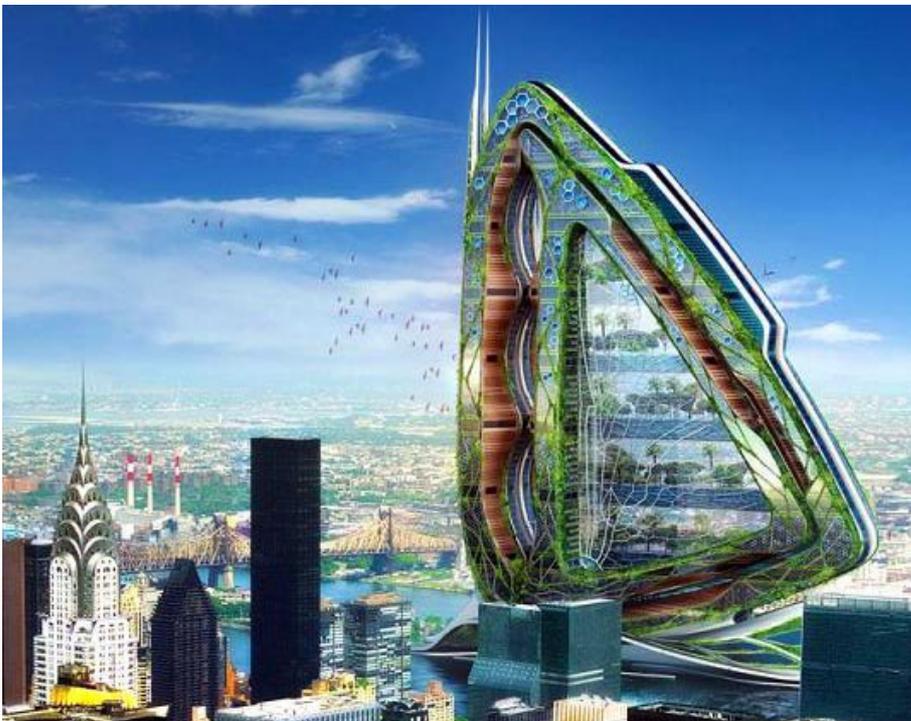
- Huertos de ocio: Los huertos de ocio son recintos que se ofrecen en explotación a los particulares, con el objetivo de promover prácticas agrícolas ecológicas. Los usuarios normalmente deben cumplir una serie de condiciones de utilización, como por ejemplo, el uso de los huertos debe ser exclusivamente el agrícola de hortalizas, flores y frutos, y la producción ser de planta ornamental, hortícola y forestal, o que el tipo de agricultura a practicar sea la ecológica.



Vista de un huerto urbano de la empresa "Urban Farm" cerca del centro de Chicago.

En la actualidad hay proyectos (aún no construidos) de rascacielos dotados de granjas verticales urbanas. Este es el caso, por ejemplo, del proyecto del rascacielos Dragonfly en Nueva York, del arquitecto Vincent Callebaut, que propone integrar en el edificio hasta 28 campos de cultivo diferentes para la producción de frutas, hortalizas, granos, carne y productos lácteos.

Además, el riego de los jardines verticales y los huertos está pensado que se haga con el agua de lluvia recolectada a través de la envolvente. La vegetación presente en el edificio no es solo decorativa, está pensada para que regule la temperatura del edificio y purifique el aire.

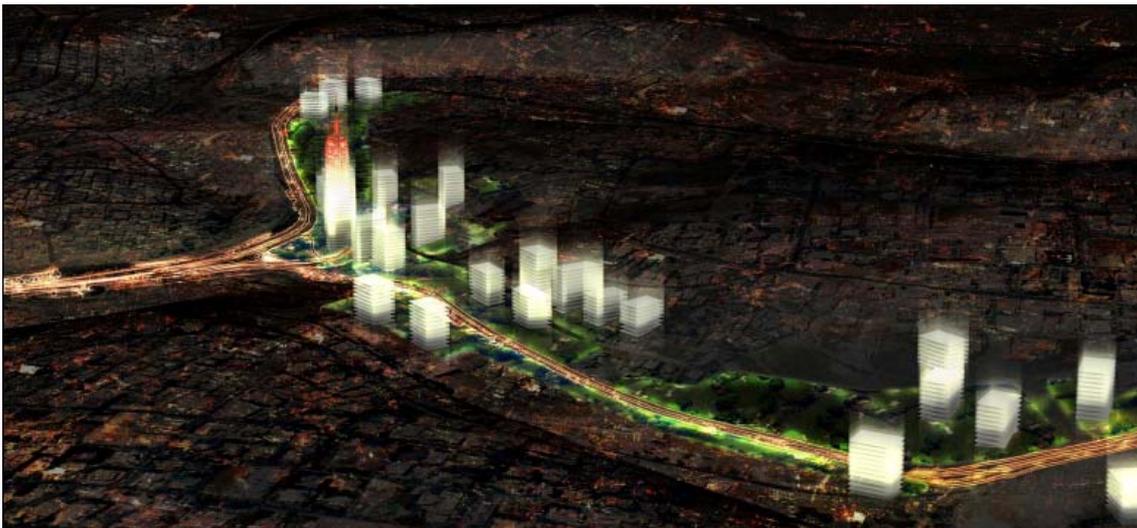


Imágenes del proyecto de rascacielos Dragonfly en Nueva York y sus huertos urbanos.



La agricultura urbana y en concreto las granjas verticales pueden convertirse en una solución a la problemática de la escasez de alimentos y de espacio en las grandes ciudades.

- Cinturones verdes: Son áreas verdes destinadas al desarrollo de bosques, agricultura y espacios de ocio al aire libre. Buscan mejorar la calidad de aire de las ciudades, dar a los ciudadanos un contacto con el campo para el ocio o con fines educativos y/o mantener el carácter único de ciertas comunidades rurales absorbidas por la gran ciudad.



Vista de un futuro cinturón verde junto a rascacielos en Amman, en Jordania.

- Cementerios: Pueden ser considerados como zonas verdes y tradicionalmente han tenido importantes zonas arboladas en su diseño. El uso de los terrenos liberados por los rascacielos para cementerios sería una aportación a las urbes, dada la escasez de cementerios en las ciudades y el poco espacio que queda ya en ellos. Salvo determinados días al año, su uso es pequeño, lo que permitiría la subsistencia de especies que en otros lugares como parques sería impensable. Su potencial para aumentar la biodiversidad no ha sido aprovechado.

4.3.3 BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA COMBINACIÓN DE EDIFICACIÓN EN ALTURA Y ESPACIOS VERDES:

La combinación de rascacielos y espacios verdes contribuye a la mejora del medioambiente a través de los siguientes mecanismos:

1. Aumento de la biodiversidad:

La introducción de áreas libres y zonas verdes en las ciudades aumenta de forma notable su entropía y contribuye a romper el proceso reduccionista y empobrecedor de la transformación de un medio natural rico y variado (imprevisible y no controlable) en otro artificial (menos plural pero más previsible).

La historia del urbanismo no es más que la historia del intento de control del caos exterior. La ciudad, simbolizada por las murallas, siempre ha sido el orden, la cuadrícula, frente al aparente caos del desconocido mundo exterior. La introducción de algo de desorden en el rígido mundo urbano y el aumento de la diversidad son dos razones que no se pueden obviar.

Los espacios verdes, ya sean parques, jardines o arbolado de alineación, favorecen unos entornos que poseen una alta tasa de biodiversidad, son más ricos y equilibrados, y hacen posible la colonización por parte de insectos, aves e incluso de pequeños mamíferos, si se trata de zonas verdes extensas, que cumplen de manera natural funciones tan importantes como el control de plagas o la polinización.

La conexión de diferentes espacios verdes entre sí facilitaría el aumento de la biodiversidad. Si además se enlazan con áreas peatonales y de circulación con bicicleta, su integración en la ciudad y los beneficios que aportarían serían aún mayores.

2. Disminución de la contaminación atmosférica:

Estos pulmones verdes en medio de la ciudad ayudan a mitigar otro de los principales problemas que nos encontramos que no es otro que el de la contaminación atmosférica.

La polución atmosférica es el problema básico de la atmósfera urbana. Está producida sobre todo por gases y aerosoles, y cuyas consecuencias más evidentes son la disminución de la luz natural, la aparición de numerosos focos de condensación y la variación en la temperatura del aire. La contaminación atmosférica está formada fundamentalmente por partículas en suspensión, óxidos nitrosos (NO_x), Ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂).

Las dos tablas realizadas por Fariña Tojo ⁴⁰ presentan un resumen de los principales contaminantes atmosféricos en las ciudades y la concentración y tiempo de permanencia de estos gases en la atmósfera:

ORIGEN DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS					
CONTAMIN.	TRANSPORTE	INDUSTRIA	GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	CALEFACCIÓN	INCINERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
CO	91,6	2,8	0,8	2,8	2,0
SO ₂	2,2	37,8	44,3	14,8	0,9
NO _x	38,8	20,0	30,0	10,0	1,2
CnHm	64,7	24,7	0,7	3,3	6,6
Partículas	15,0	50,0	20,0	10,0	5,0

CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE PERMANENCIA DE GASES EN LA ATMÓSFERA			
GAS	TIEMPO DE PERMANENCIA	CONCENTRACIÓN HACE 100 AÑOS (partes por 1.000 millones)	CONCENTRACIÓN ACTUAL (partes por 1.000 millones)
Monóxido de carbono (CO)	Meses	40 a 80	100 a 200
Dióxido de carbono (CO ₂)	100 años	290.000	350.000
Metano (CH ₄)	10 años	900	1.700
Nox	Días	0,001 o sup.	0,001-50
Óxido nítrico (N ₂ O)	170 años	285	310
Dióxido de azufre (SO ₂)	Días-semanas	0,03 o sup.	0,03-50
Halocarburos	60-100 años	0	3 aprox.

El fenómeno de la existencia de partículas en suspensión en el aire se debe fundamentalmente a causas naturales ya que se estima que los aerosoles producidos directamente por la actividad humana no llegan al 30% del total, pero en las áreas urbanas se multiplica por cinco su concentración respecto a las áreas circundantes. De todas las partículas en suspensión, las menores de 10 µm. (PM₁₀) son las que más ponen en riesgo la salud de las personas, ya que debido a su pequeño tamaño tienen muchas más posibilidades de penetrar por vía respiratoria en el cuerpo de las personas, produciéndoles enfermedades.

⁴⁰ Fariña Tojo, José; *La ciudad y el medio natural*. Ed. Akal, Madrid, 1998. Pág. 295 y 296.

Esto afecta también a la temperatura del aire, aumentándola, y a la reducción de luz y radiación solares. Además favorece la creación de núcleos de condensación que dan lugar al denominado *smog*.



Fenómeno de smog (smoke + fog= humo + niebla) en Los Ángeles, EE.UU.

Un dato que nos puede ayudar entender la magnitud del problema es que algunas ciudades británicas pierden entre el 25 y 55% de la radiación que les debería llegar durante los meses fríos ⁴¹. Está demostrado que dicha disminución es notablemente superior en los meses de invierno, y sobre todo cuando los rayos del sol inciden con ángulos muy pequeños.

En China, por ejemplo, es difícil ver en las grandes ciudades el cielo celeste y el sol brillar. China posee el estremecedor record de tener 16 de las 20 ciudades más contaminadas del mundo. Su rápida expansión económica e industrial ha provocado un crecimiento notable de la contaminación del aire en particular de las ciudades. En las zonas urbanas viven aproximadamente 560 millones de personas que conviven con fábricas, autos, obras de todo tipo que generan contaminación no solo de dióxido de carbono, monóxido de carbono sino también que emiten a la atmósfera 25,49 millones de toneladas de dióxido de azufre. La salud de las personas que están constantemente expuestas a estas sustancias está en peligro y ya comienzan a ser muy comunes intoxicaciones con plomo, problemas respiratorios, asma, etc. entre otras afecciones crónicas graves.

⁴¹ Op. Cit. Pág. 202

Las partículas en suspensión no son los únicos elementos polucionantes de la atmósfera urbana. Entre los gases más contaminantes destacan:

- Dióxido de azufre (SO₂): La combustión de calefacciones y fuegos domésticos se encargan de producir el 3% y el resto hay que atribuirlo a las centrales térmicas de producción de energía eléctrica (67%), industria (25%) y fuentes móviles (5%). En 1990, según un informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente publicado en 1996, España figuraba en el tercer lugar de la CEE en cuanto a emisiones de SO₂ con un total de 2.316.000 toneladas, solamente superada por el Reino Unido y la República Federal Alemana.

- Óxido de nitrógeno (NO₂): Los óxidos de nitrógeno son compuestos químicos muy reactivos -especialmente el dióxido de nitrógeno (NO₂)- que se producen por la combustión, sobretodo de combustibles fósiles. El NO₂ es uno de los contaminantes más peligrosos por sus características irritantes sobre el aparato cardiovascular y el aparato respiratorio, e indirectamente por su relación con la formación del ozono.

- Ozono (O₃): El ozono se forma a partir de otros contaminantes atmosféricos primarios (óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos) en presencia de una elevada radiación solar. Es un oxidante que puede tener efectos nocivos para la salud, como tos, irritación de las vías aéreas superiores, afectación de la función pulmonar y efectos de tipo más generalizado como sensación de cansancio, dolor de cabeza, etc. Además, al igual que el resto de contaminantes citados, puede afectar a enfermos cardiovasculares y respiratorios.

- Dióxido de carbono (CO₂): Otro conjunto de gases nocivos altamente contaminantes lo constituyen el monóxido de carbono (CO) y sus derivados que se producen, principalmente, por la combustión incompleta de gasolinas y diésel que se producen en los núcleos urbanos, y que alcanzan un volumen considerable por su alta concentración. España produjo en el año 1990 la cantidad de 227 millones de toneladas de CO₂, uno de los gases que más contribuyen al efecto invernadero. Según datos de Antoni Falcón ⁴², una ciudad desarrollada, de dimensiones medias, produce entre 3 y 8 toneladas de CO₂ por persona y año, de las cuales, el tráfico de vehículos a motor representa cerca del 40% del total.

El dióxido de carbono contribuye un 60% al efecto invernadero, por lo que se considera la estrella del calentamiento global; el metano un 15%, los óxidos de nitrógeno un

⁴² Falcón, Antoni; *Espacios verdes para una ciudad sostenible. Planificación, proyecto, mantenimiento y gestión*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2007.25 p.

5%, y otros gases (ozono, hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFC) y derivados del azufre, como el hexafluoruro de azufre) y partículas contribuyen al 20% restante.

*FIJACIÓN DE PARTÍCULAS:

Los árboles consumen buena parte de este dióxido de carbono y producen grandes cantidades de oxígeno. Mediante la fotosíntesis, los vegetales realizan un proceso bioquímico inverso al de la respiración humana, ya que aportan oxígeno (O₂) a la atmósfera y absorben el CO₂. La fotosíntesis es más intensa en las épocas de mayor actividad de las plantas, y está relacionada con la superficie foliar de cada especie. Así, según Antoni Falcón ⁴³, una ciudad con un volumen medio de zonas verdes, la vegetación produce el 10% del oxígeno que consumen sus habitantes. Por ejemplo, un abedul de 24 m. de alto y con un diámetro de copa de 15m. produce el oxígeno necesario para la respiración de diez personas.

La vegetación de las zonas verdes urbanas también sirve para fijar las partículas de polvo y los gases contaminantes que se encuentran en suspensión en la atmósfera, como el plomo, el flúor o el ácido sulfúrico. Tal y como explica Antoni Falcón ⁴⁴, estas partículas quedan retenidas, sobre todo, en las hojas y en las superficies verdes en general, lo que favorece una atmósfera más limpia. La retención es más importante cuanto mayor es el volumen vegetal presente en un espacio, aunque la calidad de las hojas también influye en este aspecto, ya que son más eficaces las de superficie rugosa.

Además, según Mc Pherson et Al. ⁴⁵, la vegetación urbana puede mitigar la contaminación debida al ozono mediante el descenso de las temperaturas de la ciudad, y directamente, absorbiendo gas, gracias a que las hojas pueden absorber o tomar contaminantes tales como el ozono y el dióxido de sulfuro a unos niveles significativos. Se ha demostrado que un abeto Douglas, con un diámetro de 38 cm. puede eliminar 19,7 kilogramos de dióxido de sulfuro por año, de una concentración atmosférica de 0,25 partes por millón. Para ilustrar la efectividad de los árboles a la hora de deshacerse del dióxido de sulfuro, se considera que para eliminar las 462.000 toneladas de dióxido de sulfuro liberadas anualmente en San Luis, Missouri, se necesitarían unos 50 millones de árboles (aproximadamente el 5% del área de la ciudad).

⁴³ Falcón, Antoni. Op. Cit. 25p.

⁴⁴ Falcón, Antoni. Op. Cit. 26p.

⁴⁵ Mc Pherson, E. Gregory, Nowak, David J. y otros. *Chicago's Evolving Urban Forest: Initial report of the Chicago Urban Forest Climate Project*. Northeastern Forest Experiment Station, US Department of Agriculture, Forest Service. General Technical Report EN-169, 1993.

Según Wainwright et Al. ⁴⁶, las mediciones tomadas en 1962 en Hyde Park, Londres, indican que las concentraciones de dióxido de azufre se redujeron, en parte debido a la circulación del aire a través de la vegetación y en parte debido a la toma de gas por las hojas.

En la siguiente tabla ⁴⁷ podemos ver la cantidad de CO₂ neto fijado por distintas especies a lo largo del año.

Árboles urbanos según cantidad de CO₂ que fijan anualmente

Árboles	kg CO₂ /año
Melia	5.969
Jacaranda	1.832
Brachichiton	957
Acacia de tres espinas	802
Olmo	762
Naranja	555
Álamo	498
Plátano de sombra	478
Ciprés	385
Laurel	384
Árbol del amor	19
Ciruelo japonés	17
Catalpa	11

Arbustos urbanos según cantidad de CO₂ que fijan anualmente

Arbustos	kg CO₂ /año
Durillo	46 ²
Palmito	40
Adelfa	31
Madroño	28
Lantana	6
Aligustre	1,3
Mirto	0,6
Lentisco	0,2

Según Salvatore Fidenzio ⁴⁸, los microorganismos del suelo son más efectivos que la vegetación en la eliminación del monóxido de carbono y ayudan a la conversión del monóxido de carbono en dióxido de carbono. Según el autor, el oxígeno liberado por las plantas del borde de las carreteras puede disminuir los niveles de monóxido de carbono a lo largo de las rutas de tráfico intenso. El óxido de nitrógeno combinado con gases tales como

⁴⁶ Wainwright, C.W.K. y Wilson, M.J.G. "Atmospheric Pollution in a London Park". *International Journal of Air and Water Pollution*, vol.6, 1962.

⁴⁷ Figueroa Clemente, Manuel Enrique, Los sumideros naturales de CO₂: una estrategia sostenible entre el cambio climático y el Protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial; Muñoz Moya editores extremeños, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2007. p. 191-202.

⁴⁸ Salvatore, Fidenzio. *The Potential Role of Vegetation in improving the Urban Air Quality, A Study of Preventative Medicine*. Willowdale, Ontario: Mork-Toronto Lung Association, 1982.

el oxígeno produce dióxido de nitrógeno, que es entonces rápidamente absorbido por la vegetación.

La vegetación también recoge los metales pesados. En New Heaven, Connecticut, Schmid ⁴⁹ demostró que un arce de azúcar de 30 cm de diámetro fijaba 60 miligramos de cadmio y 140 mg de plomo de la atmósfera durante una estación de crecimiento. Esto sugiere que los espacios con vegetación pueden proporcionar áreas en donde el polvo puede asentarse y donde pueden diluirse los contaminantes del aire.



Foto del arce de azúcar negro junto a la casa Farnsworth de Mies van der Rohe.

Sin embargo, cuando los contaminantes son excesivos, se produce un daño en las plantas. Schmid señala que el daño de las plantas se complica por muchos factores tales como la edad de la planta, su estado nutritivo, el grado de humedad, etc.

Las diferentes especies de plantas también varían en su tolerancia a la contaminación del aire y en su efectividad en la mejora de la calidad del aire. Por este motivo las plantas no pueden contemplarse como la panacea para mejorar los problemas de contaminación del aire, pero no hay duda de que colaboran en la purificación del aire y sirven a otra importante función climática como indicadores de la contaminación del aire, y de este modo de la salud de la gente que vive en las ciudades. Por tanto hay razones de peso para restaurar la vegetación en las áreas urbanas a la hora de planear y diseñar el medioambiente urbano, con una solución como es la aquí propuesta: introduciendo espacios verdes alrededor de los rascacielos en las ciudades.

⁴⁹ Schmid, James A. "Urban Vegetation". Universidad de Chicago, Departamento de Geografía, Research Paper n° 161, 1975.

3. Disminución de la morbilidad y enfermedades respiratorias:

Según la OMS ⁵⁰, si se reduce el nivel de polución atmosférica, puede descender la carga de morbilidad (proporción de personas que enferman en un sitio y tiempo determinado) causada por infecciones respiratorias, cardiopatías y cáncer de pulmón.

4. Mejora del microclima urbano:

El clima en las ciudades está condicionado en gran parte por el hombre, lo que significa que, en cierta medida, puede ser modificado. De hecho, las condiciones climáticas en una situación urbana difieren en algunos casos notablemente respecto a las áreas circundantes. Podemos verlo claramente en el cuadro siguiente ⁵¹.

CONDICIONES MEDIAS DEL CLIMA URBANO COMPARADAS CON LAS DE LAS ZONAS CIRCUNDANTES		
COMPOSICIÓN ATMOSFÉRICA	Dióxido de carbono Dióxido de azufre Óxidos de nitrógeno Monóxido de carbono Partículas	el doble doscientas veces diez veces doscientas veces de tres a siete veces
RADIACIÓN	Solar global Ultravioleta en invierno Duración de la luz solar	-15 al 20% -30% -5 al 15%
TEMPERATURA	Promedio de la mínima invernal Días de grado de calentamiento	+1 a 2 °C -10%
VELOCIDAD DEL VIENTO	Media anual Número de días de calma	-20 al 30% +5 al 20%
NIEBLA	Invierno Verano	+100% +30%
PRECIPITACIÓN	Total Días con más de 5 mm	+5 al 10% +10%

La mejora del microclima urbano de las ciudades se puede conseguir mediante la combinación de rascacielos y espacios verdes principalmente a través de 4 elementos: la forma del edificio, los materiales del suelo de planta baja, las láminas de agua y los árboles.

- **Forma del edificio:** Puede utilizarse desde el punto de vista climático con dos funciones: para producir sombras y para controlar la velocidad del viento.

⁵⁰ Organización Mundial de la Salud, *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. 2005.

⁵¹ Barry, R.G.; Chorley, R.J.; *Atmósfera, tiempo y clima*; Ed. Omega, 7ª edición, Barcelona, 1999.

En su primera función, en los meses más calurosos, las necesidades de sombra se producen en los momentos en los que el sol se encuentra más alto. Dada la altura del edificio, incluso en esos momentos produce sombra. También es interesante aprovechar durante los meses de verano, la sombra producida por la tarde. Para latitudes y climas como el de Madrid, este tipo de resguardo es conveniente para áreas de juegos de niños ya que en invierno el número de horas de sol después de la comida es muy pequeño y estas zonas se utilizan por las mañanas, momento en el cual la radiación solar no está obstaculizada, mientras que en verano se suelen utilizar por las tardes.

Otra de las utilidades de la forma del edificio es la de organizar áreas resguardadas de los vientos, sobretodo si tenemos en cuenta que la distancia de resguardo depende de la altura del edificio. Sin embargo, también hay que advertir que la coincidencia de las frecuencias y la dirección del viento en los meses de invierno y verano puede hacer que los resguardos en los primeros signifiquen auténticos agobios calurosos en verano.

En síntesis, el uso de la forma del edificio tanto para producir sombra como para resguardar del viento es un aspecto que requiere una profundización en función del lugar específico y sus características.

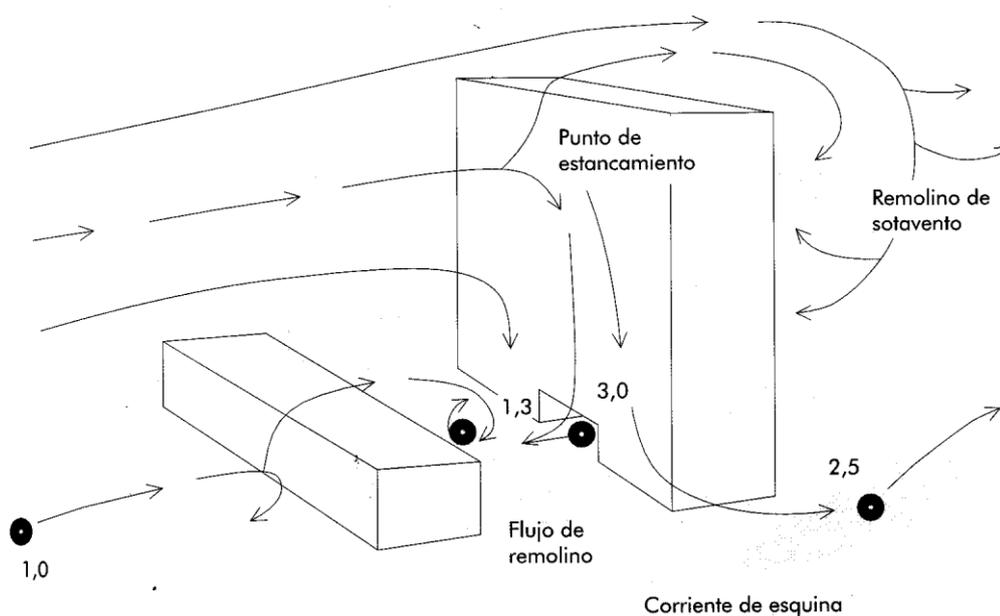


Fig. 4.9: Modelo de flujos en un caso concreto de un medio urbano ⁵².

⁵² Barry, R.G.; Chorley, R.J.; *Atmósfera, tiempo y clima*; Ed. Omega, 7ª edición, Barcelona, 1999.

- Tipo de pavimentación: Tienen una incidencia muy importante en la confortabilidad urbana microclimática. El coeficiente de albedo (relación entre la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma) del suelo es un dato básico, que nos permite conocer la capacidad de reflexión de la radiación solar del suelo, y por consiguiente, la cantidad de energía calorífica que es capaz de absorber.

Frente a materiales como el hormigón con un coeficiente de albedo de 0,6 o la arena seca de 0,3, tenemos otros como el asfalto con un coeficiente de 0,03, el cual prácticamente no refleja ninguna radiación, lo que lo convierte en un auténtico acumulador de calor. Esto puede ser bueno o malo dependiendo del tipo de clima y de las condiciones del área urbana. Como norma general, el suelo natural se comporta de una forma mucho más neutra en relación a la radiación-temperatura, por lo que debería ser siempre el suelo preferido.

Sin embargo, en la mayoría de ciudades de España el suelo de las calles tiende cada vez más a ser de asfalto, con el consiguiente aumento de temperatura, por lo que poder transformar estas superficies en superficies verdes o tierra natural ayuda considerablemente a reducir el efecto de isla de calor que padecemos en las urbes.

El problema se agrava notablemente en ciudades de climas calurosos como pueden ser Barcelona o Madrid debido a la cantidad importante de "plazas duras", espacios públicos totalmente cementados, en los que la evapotranspiración del suelo hidráulico es prácticamente nula. Esta ausencia de evapotranspiración significa que la mayor parte de la radiación solar incidente es transformada en calor, aumentando la temperatura. Si a esto sumamos que la principal característica de los pavimentos urbanos es, como ya hemos comentado, su escaso poder de reflexión, éstos se transforman en extraordinarios acumuladores térmicos que ceden el calor cuando en determinadas noches de verano amenaza con refrescar.

Otro dato importante es que una gran parte de las actividades urbanas son generadoras de calor. Esto explica el fenómeno de las denominadas "islas de calor", por el cual según Fariña Tojo ⁵³, determinadas zonas urbanas pueden llegar a estar hasta 8°C más calientes que las áreas circundantes, especialmente en las horas de las noches claras y serenas. Estas islas pueden tener una profundidad de centenares de metros dependiendo del tipo de edificaciones. Incluso dentro de la ciudad puede haber variaciones de temperatura importantes en pocos metros. Así, pueden apreciarse diferencias de hasta 5°C en la

⁵³ Op. Cit. Pág. 206.

temperatura del aire cerca del asfalto y a 10 metros del mismo sobre la hierba a la sombra. Pero donde más se agudizan estas diferencias es en el calor por contacto, pudiendo llegar a ser de más de 25°C en esos mismos 10 metros.

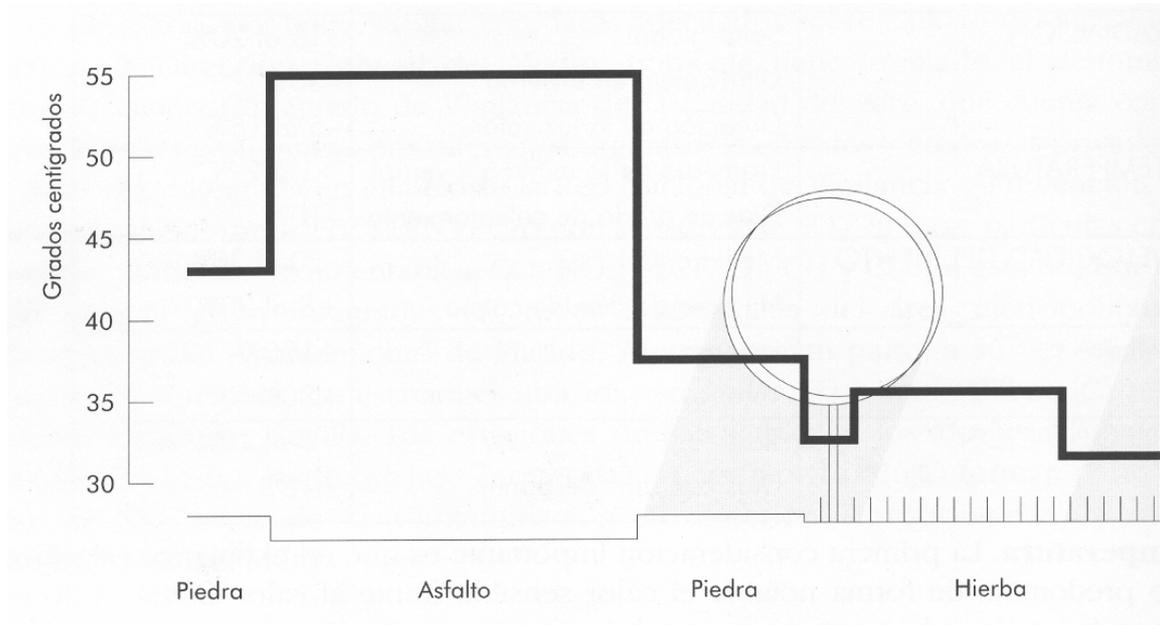


Figura 4.10. Esquema extraído del libro de José Fariña Tojo ⁵⁴.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la capacidad de absorber el agua que tienen las superficies verdes, frente a la casi total impermeabilidad de las superficies artificiales. Esto es especialmente importante cuando tenemos grandes lluvias y se producen inundaciones. A mayor cantidad de suelo verde y natural, el agua se filtra y permanece bajo la tierra más tiempo, hace que tarde más en llegar a los cauces y que se reduzca el riesgo de inundaciones.

Otra ventaja de estos espacios verdes alrededor de los rascacielos es que se podrían convertir en auténticos depósitos de agua reutilizable, para el riego de los árboles o para las viviendas, idea especialmente interesante en estos tiempos de sequía y escasez de agua. Muy frecuentemente, al construir los sótanos de los edificios, se producen roturas de flujos freáticos existentes, que se pueden aprovechar para diversos usos. Esto es especialmente interesante en el caso del rascacielos por el volumen de edificio bajo tierra que hay que impermeabilizar. Un buen ejemplo lo tenemos en el caso del Liceu de Barcelona, en el que se tuvo que impermeabilizar hasta 54 metros bajo tierra al encontrar una segunda

⁵⁴ Fariña Tojo, José; *La ciudad y el medio natural*. Ed. Akal, Madrid, 1998.p. 206.

capa freática a esa cota. El agua que se recoge (18 m³ de agua/hora) se bombea hasta un depósito situado en el Raval y se aprovecha para el riego urbano.

Dado que normalmente en las ciudades no existen grandes extensiones de agua y la evacuación de la misma cuando llueve es muy rápida debido a los altos coeficientes de escorrentía de la mayor parte de los materiales artificiales, la evaporación tiende a ser escasa. Si a esto añadimos que la evapotranspiración es casi nula, la humedad es bastante menor en las ciudades que en las áreas circundantes. Esto, que no sería grave en climas húmedos, sí es un inconveniente en la mayor parte de las regiones españolas. Una mayor presencia de suelos verdes en las ciudades aumentaría la evapotranspiración del agua acumulada en su superficie, con el consiguiente descenso de temperatura en el centro de las ciudades y la mejora de su microclima.

- Láminas de agua: En climas cálidos y secos es un buen recurso para hacer disminuir la temperatura en los meses calurosos y crear un microclima más agradable.

Un ejemplo paradigmático de lámina de agua con rascacielos en medio de la ciudad lo constituye el Seagram Building de Mies Van Der Rohe en Nueva York. En este caso, Mies optó por este espacio no por razones medioambientales, sino urbanas. El hecho de retirar el Seagram 30 metros de Park Avenue le servía para realzar la presencia del edificio y la estética de la ciudad. Define así una plaza elevada de granito con dos láminas de agua con fuentes que ofrecen un espacio de respiro para los peatones de alrededor y que ayudan a establecer la escala del espacio entre la calle y el edificio. Incluso de noche, una banda periférica de luces ilumina cada una de las plantas del edificio insuflando vida a la estructura y a la plaza para que los transeúntes puedan disfrutar de ellas fuera del horario de oficina.

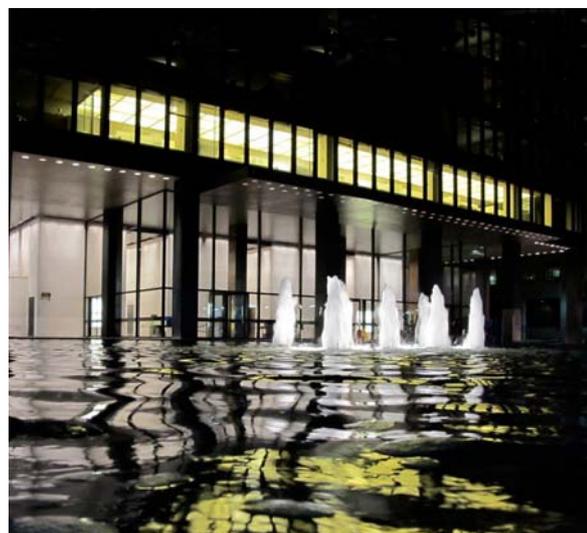


Lámina de agua del Seagram Building, Mies Van der Rohe, Nueva York.

- Vegetación: Permiten en cierto control tanto sobre el soleamiento como sobre el viento. Los árboles de hoja caduca son especialmente interesantes, puesto que si se encuentran colocados en un paseo soleado permitirán tener sombra en verano y dejarán pasar el sol en invierno.

4.3.4 RESUMEN DE LOS BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA EDIFICACIÓN EN ALTURA

GENERADORA DE ESPACIOS VERDES:

			
		IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES POSITIVOS A ESCALA URBANA DE RASCACIELOS + ESPACIOS VERDES	
1. BALANCE ENERGETICO	1.1 GASTO ENERGÉTICO	EDIFICACIÓN	. Disminución del gasto energético en la fase de uso de los edificios al mejorar el microclima. . Disminución de las emisiones de CO2 en la fase de uso de los edificios al mejorar el microclima.
	1.2 CONTROL DEL CO2	EDIFICACIÓN	. Disminución de las contaminación atmosférica gracias a la absorción de contaminantes por parte de la vegetación.
		TRÁFICO	. Disminución de las contaminación atmosférica gracias a la absorción de contaminantes por parte de la vegetación.
2. OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS	2.1 RECURSOS BÁSICOS	TIERRA	. Aumento del suelo fértil y libre para vegetación.
		AGUA	. Aumento de recogida de agua para usos diversos. . Mejora de la hidrología del lugar y disminución del riesgo de inundaciones
		AIRE	. Mejora de la calidad del aire por efecto de la vegetación. . Creación de microclimas que mejoran las condiciones climáticas de la ciudad, disminuyen la temperatura ambiental urbana y el fenómeno de isla de calor. . Amortiguación de la contaminación acústica de baja frecuencia.
	2.2 RECURSOS COMBUSTIBLES	NO RENOVABLES	. Disminución del consumo de recursos combustibles en la fase de uso de las edificaciones al mejorar el microclima.
3. SEGURIDAD Y SALUD	3.1 RIESGOS NATURALES		. Menor riesgo de inundaciones y riadas al aumentar las superficies verdes.
	3.2 SALUD		. Disminución de las enfermedades respiratorias y de mortalidad gracias a la absorción de los contaminantes atmosféricos por parte de la vegetación.
4. CONECTIVIDAD	4.1 MOVILIDAD		. Aumento de la movilidad de transporte peatonal y ciclista en espacios verdes.
5. REGENERACIÓN AMBIENTAL	5.1 BIODIVERSIDAD		. Aumento de espacios verdes y de la biodiversidad. . Aumento de superficies forestales, cultivadas, para pastos y otros usos agrarios. . Ornamentación y embellecimiento de la ciudad.

En conclusión, la ciudad compacta es ambientalmente más sostenible que la ciudad difusa y la edificación en altura encaja perfectamente dentro del modelo urbano compacto al que puede aportar grandes beneficios ambientales derivados en parte de su capacidad de generar espacios públicos abiertos y verdes.

La combinación de compacidad y diversidad de usos constituye un modelo urbano sostenible, aunque entraña ciertas limitaciones. Las ciudades demasiado compactas dificultan la penetración de luz diurna en los edificios y padecen una mayor contaminación con el consiguiente empeoramiento de salud de sus habitantes. Las ventajas de la densidad no son ilimitadas, sino que varían en función del clima, el uso del suelo, la cultura y la latitud. De hecho, una configuración óptima de ciudad conjuga compacidad, alta densidad, mezcla de usos y edificios de distintas alturas. El rascacielos no es la panacea del siglo XXI. No defendemos que haya que llenar las ciudades de rascacielos; eso sería contraproducente, como está sucediendo en ciudades de Asia y Sudamérica, pero sí puede ser una herramienta que, como hemos visto, bien utilizada y dosificada puede aportar grandes ventajas medioambientales a las ciudades actuales y futuras.



Rascacielos y espacios verdes. Madrid.