

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



CAPÍTULO 6. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ENERGÉTICO EN EL CICLO DE VIDA COMPLETO DE 6 FACHADAS PARA EL RASCACIELOS.

6.1 INTRODUCCIÓN

6.2 PROPUESTA Y DEFINICIÓN DE 6 FACHADAS PARA EL RASCACIELOS:

- MURO CORTINA DE VIDRIO.
- DOBLE PIEL DE VIDRIO CON CÁMARA.
- PANELES SÁNDWICH DE ALUMINIO.
- FACHADA TRASVENTILADA DE PIEDRA COLGADA.
- FACHADA TRASVENTILADA VERDE.
- FACHADA TRASVENTILADA FOTOVOLTAICA.

6.3 ESTUDIO DE LA ENERGIA Y EMISIONES DE CO2 NECESARIAS EN EL CICLO DE VIDA COMPLETO DE 6 FACHADAS PARA EL RASCACIELOS:

- A. ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.
- B. ENERGÍA Y EMISIONES PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES A LA OBRA.
- C. ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO.
- D. ENERGÍA Y EMISIONES PARA EL USO Y MANTENIMIENTO DEL EDIFICIO.
- E. ENERGÍA Y EMISIONES PARA LA DEMOLICIÓN DEL EDIFICIO.
- F. SINTESIS DEL ACV DE 6 FACHADAS DEL RASCACIELOS. CONCLUSIONES.

6.1 INTRODUCCIÓN:

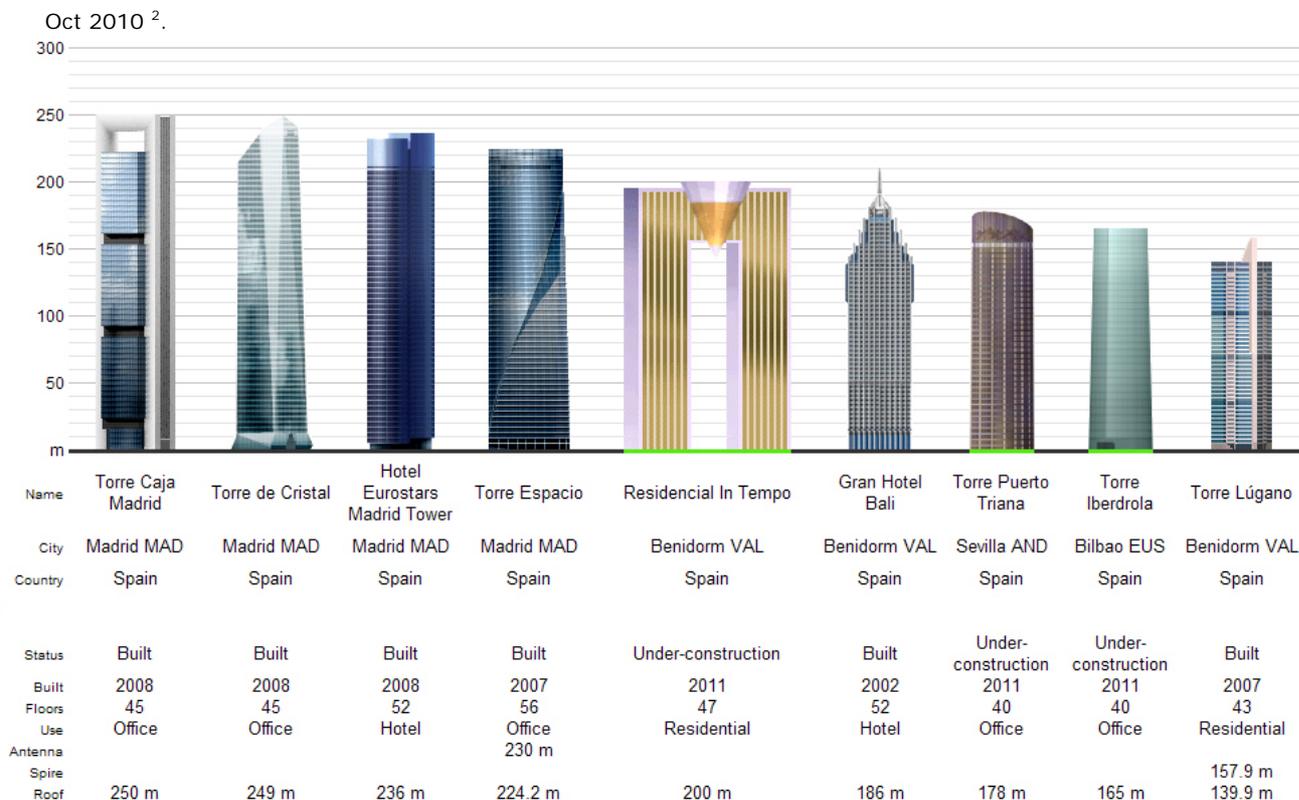
Las fachadas son membranas complejas que controlan por un lado las incidencias externas sobre el edificio y por otro los efectos del edificio sobre el ambiente. En el caso del edificio en altura, la fachada es el elemento que más relación tiene con el exterior y donde se producen la mayoría de intercambios energéticos, lumínicos, visuales, etc.

Este capítulo pretende evaluar el impacto ambiental y energético de las diferentes tipologías de fachadas del rascacielos, ponerlas en comparación y ver cuáles de ellas funcionan mejor desde un punto de vista sostenible. De entre la multiplicidad de fachadas posibles, se han escogido para el estudio aquellas que se encuentran más habitualmente en la actualidad en España en la edificación en altura.

Fig. Cuadro con el número de rascacielos existentes o en construcción en España con fecha Oct 2010 ¹.

PRINCIPALES CIUDADES DE ESPAÑA CON RASCACIELOS	TOTAL RASCACIELOS
BARCELONA	43
BENIDORM	28
BILBAO	19
HOSPITALET DE LLOBREGAT	16
MADRID	44
MÁLAGA	23
PALMA DE MALLORCA	18
VALENCIA	13

Fig. Dibujo de los principales rascacielos existentes o en construcción en España ordenados por altura.

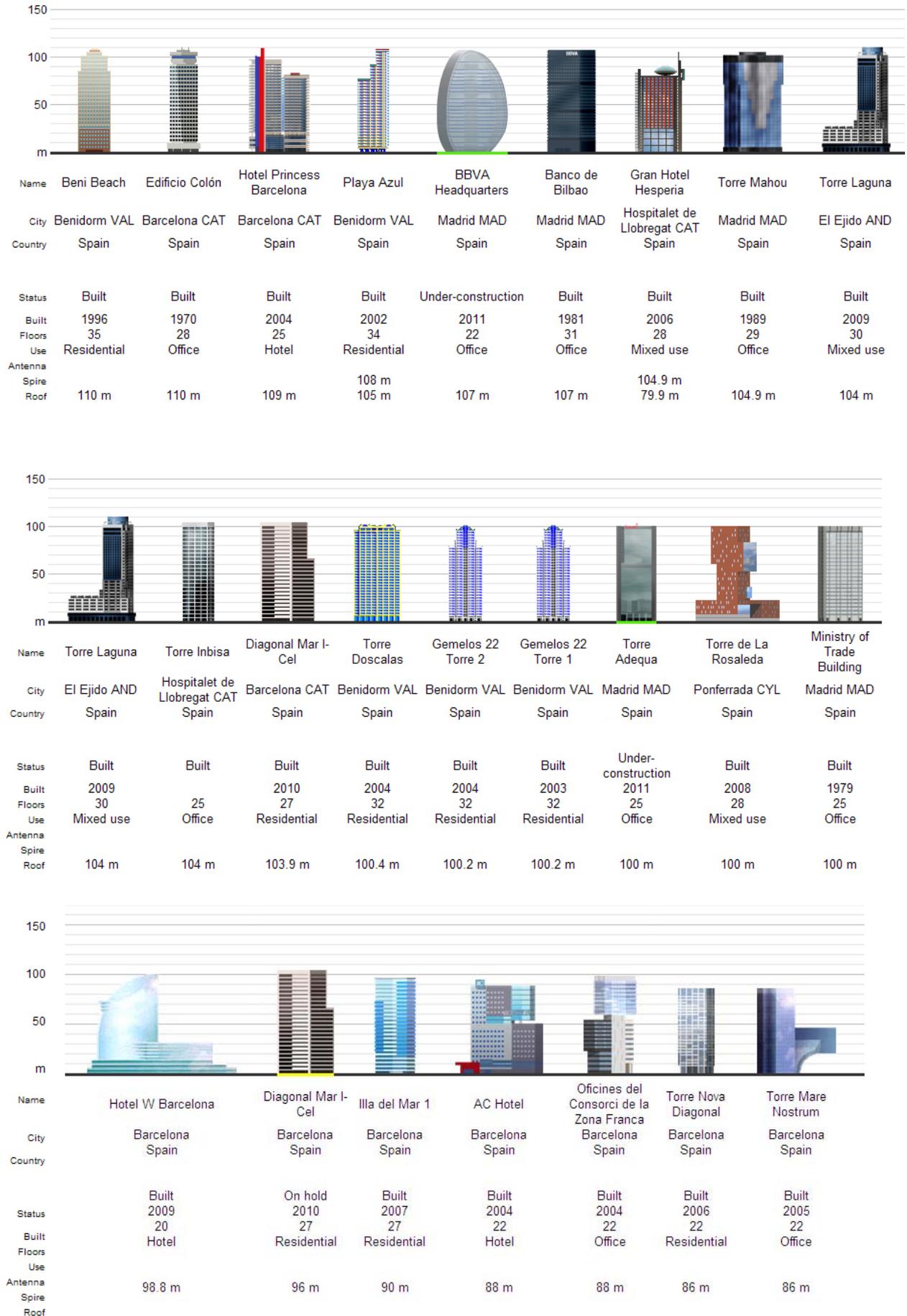


¹ Fuente: www.skyscraperpage.com

² Fuente: www.skyscraperpage.com



CAPITULO 6. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ENERGETICO DE 6 FACHADAS PARA EL RASCACIELOS



En este contexto, se encuentran fachadas que tienden cada vez más hacia los cerramientos ligeros: muros cortina, fachadas de doble piel de vidrio con cámara ventilada, fachadas de paneles sándwich ligeros y fachadas transventiladas.

En el estudio, se han incluido tres versiones de fachadas transventiladas: las ya conocidas de piedra colgada y dos propuestas que se encuentran cada vez más presentes en los edificios: las fachadas transventiladas verdes y de placas fotovoltaicas.

El peso es un buen criterio general para calcular el impacto ambiental. La contaminación, el polvo, las molestias y el ruido suelen estar relacionados con él; cuanto más pesado es un edificio, mayor suele ser el impacto ambiental; por ello se han descartado las fachadas de cerramientos pesados.

La búsqueda de la ligereza y de la levedad responde a un criterio medioambiental, pero es a la vez el reflejo de una inquietud presente en la arquitectura contemporánea; dicho de otra forma, en palabras de Italo Calvino ³, refiriéndose a la literatura, pero asimismo aplicables a la arquitectura: *"Si quisiera escoger un símbolo propicio para asomarnos al nuevo milenio, optaría por éste: el ágil salto repentino del poeta filósofo que se alza sobre la pesadez del mundo, demostrando que su gravedad contiene el secreto de la levedad, mientras que lo que muchos consideran la vitalidad de los tiempos, ruidosa, agresiva, rabiosa y atronadora, pertenece al reino de la muerte, como un cementerio de automóviles herrumbrosos"*.

³ Calvino, Italo, *Seis propuestas para el próximo milenio*, Ed. Siruela, Madrid, abril 2001, p. 27.

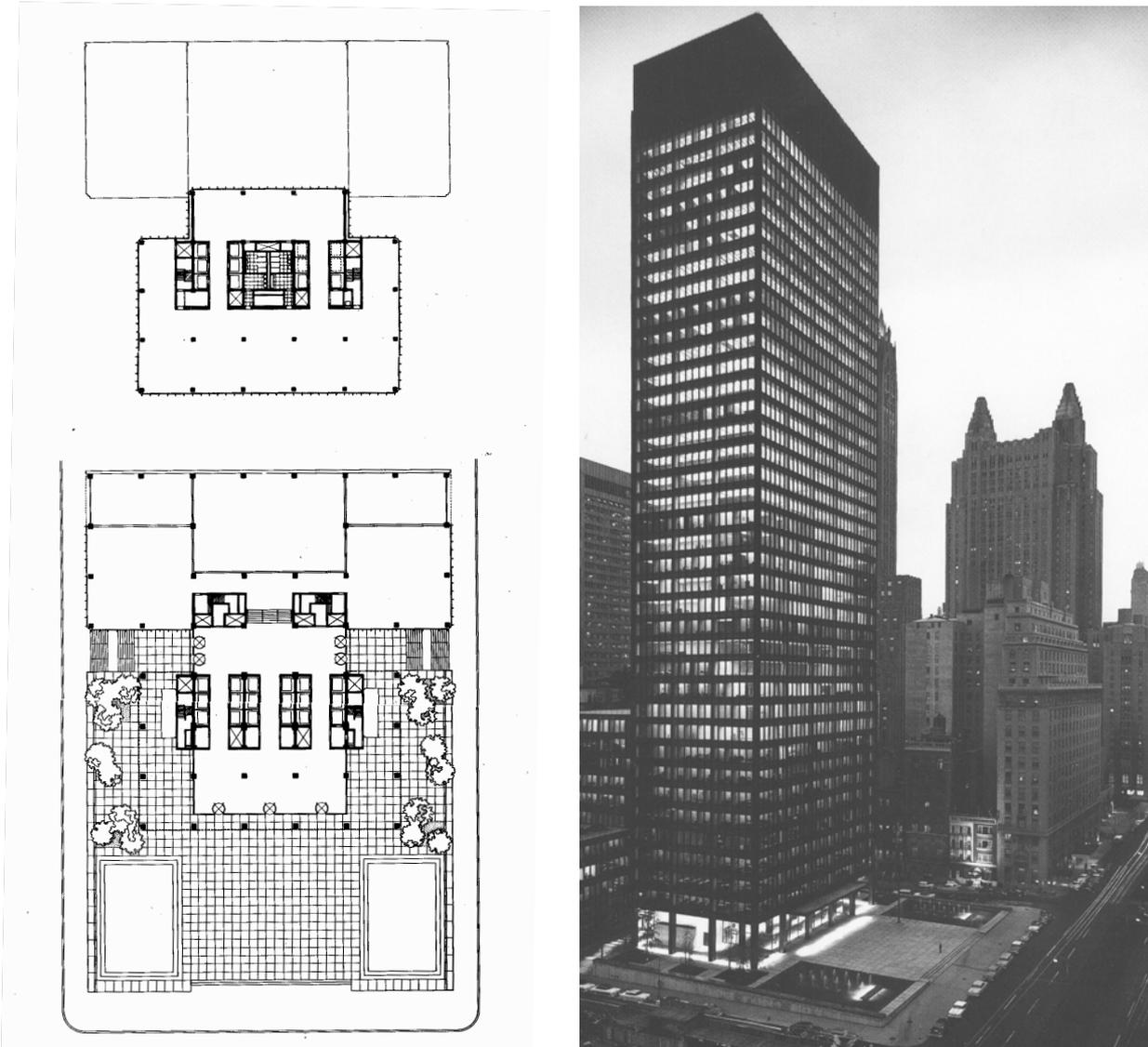
6.2 **PROPUESTA Y DEFINICIÓN DE 6 FACHADAS PARA EL RASCACIELOS:**

Siguiendo los criterios anteriormente expuestos, las 4 fachadas que hemos escogido son las siguientes:

1. Muro cortina de vidrio.
2. Fachada de doble piel de vidrio con cámara ventilada.
3. Fachada de paneles sándwich de aluminio.
4. Fachada trasventilada de piedra colgada.
5. Fachada trasventilada verde.
6. Fachada trasventilada fotovoltaica.

El modelo geométrico que hemos adoptado es un edificio en altura con las dimensiones del modelo Seagram definido en el capítulo 3, ya que de los dos tipos de rascacielos estudiados previamente, el Seagram es el que mejor resultados ambientales ha obtenido. A continuación recordamos el sistema constructivo empleado en el estudio:

Fig. Seagram Building, New York. Mies van der Rohe, plantas tipo y baja e imagen nocturna.



Estructura:

- Estructura horizontal:

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

- Estructura vertical:

Se ha descartado la estructura de pilares de hormigón armado por el peor resultado ambiental que se ha obtenido en el estudio del capítulo 3. En su lugar, se considera únicamente la estructura vertical con pilares de acero combinado con un núcleo central de hormigón armado. 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 del edificio y una altura de 2,75 m.

Para establecer el dimensionado de la estructura y la cimentación del rascacielos se ha tomado como referencia la estructura ejecutada en el rascacielos construido por los arquitectos Carlos Rubio Carvajal y Enrique Álvarez-Sala Walther ⁴ en el paseo de la Castellana de Madrid y se ha adaptado al tipo propuesto.

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.

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. A continuación se detalla la composición constructiva de cada fachada:

⁴ Encabo Seguí, Enrique, *Técnica y estrategias sobre la construcción de la Torre SYV*, Ed. Q! Studio, Madrid, julio 2009.

1ª FACHADA: MURO CORTINA DE VIDRIO

La fachada se compone de una única hoja exterior de vidrio aislante transparente de suelo a techo de espesor (10/12/6+6) mm. con un peso de $57,63 \text{ Kg/m}^2$ y un coeficiente de transmisión térmica K de $1,88 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Esta hoja está sujeta por una subestructura de aluminio sujeta mediante fijaciones de acero inoxidable al forjado de cada planta. En el encuentro con los forjados se sitúa un aislamiento térmico de poliestireno expandido de 5 cm. de grosor, de densidad 20 Kg/m^3 y una K de $0,03 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

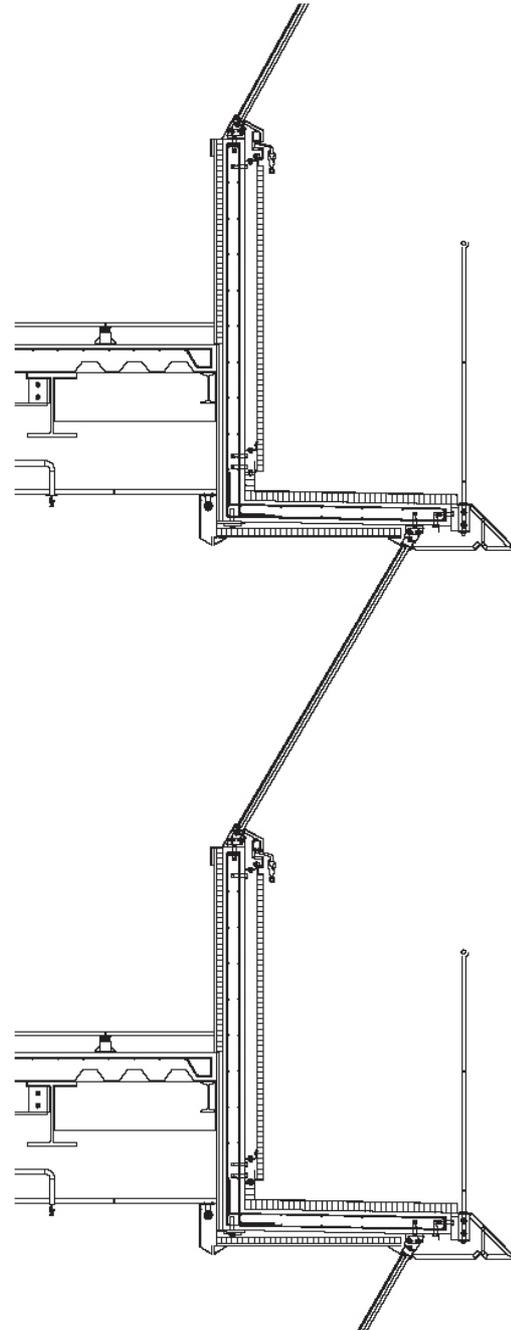


Fig. Ejemplo de muro cortina en la Torre Mapfre, de los arquitectos Ortiz y León. (Barcelona, 1992, 154 m. de altura)

2ª FACHADA: FACHADA DE DOBLE PIEL DE VIDRIO CON CAMARA

La fachada se compone de dos hojas, una exterior de vidrio stadip 4+4 con una lámina de butiral de 0,76 mm y una K de 5,7 W/m² °C y otra interior con 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. La hoja exterior está sujeta por una subestructura de aluminio sujeta mediante fijaciones de acero inoxidable al forjado de cada planta. Este sistema nos proporciona una protección térmica y también acústica, ya que reduce las presiones fuertes de viento en los rascacielos y permite abrir las ventanas y que se produzca ventilación natural.

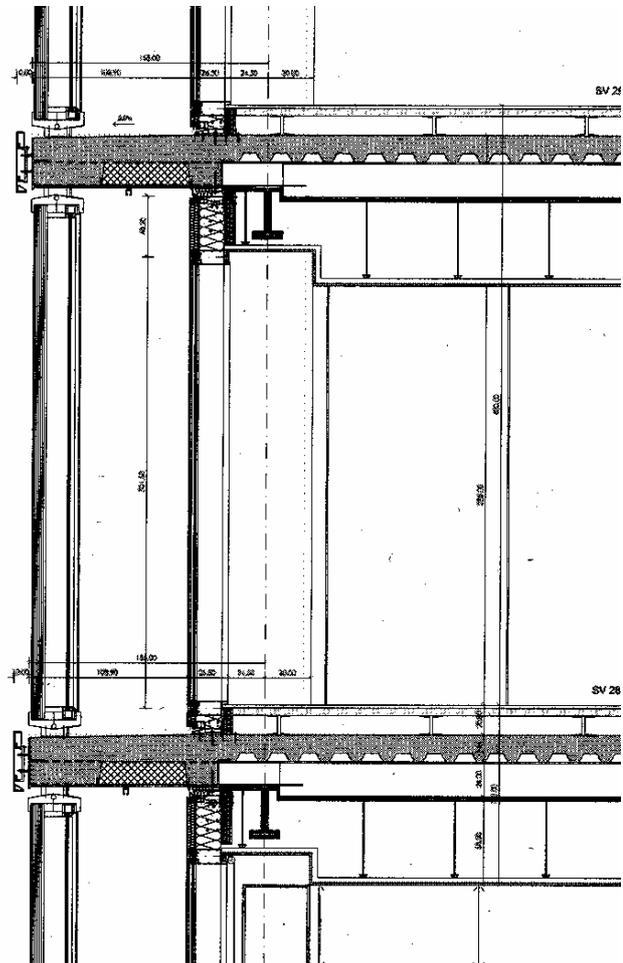


Fig. Ejemplo de fachada de doble piel de vidrio con cámara ventilada en el Rascacielos Hotel Eurostars, de Rubio Carvajal y Álvarez-Sala. Vista y sección ⁵. (Madrid, 2008, 236 m. de altura).

⁵ Araujo, Ramón. Vestidos de altura. Fachadas de Rascacielos, la experiencia de Madrid. *Arquitectura Viva*, Julio 2008, nº 121, p. 34.

3ª FACHADA: FACHADA DE PANELES SANDWICH DE ALUMINIO

Esta fachada corresponde a la fachada de paneles sándwich de aluminio. La hoja exterior pasa por delante de los forjados y se compone de un panel exterior sándwich de aluminio en sus dos caras externas, de 0,6 mm de espesor cada una y un alma de poliuretano proyectado de densidad 50 Kg/m^3 , con un espesor total de 70 mm, una K de $0,42 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ y un peso de $5,86 \text{ Kg/m}^2$, sujeta mediante perfiles de aluminio a los forjados de cada planta. La hoja interior está hecha de una lámina de yeso laminado de 15 mm. de grosor sujeta mediante una estructura de montantes de acero galvanizado. Entre ambas hojas hay una cámara de aire vertical sin ventilar de 5 cm de espesor. La junta cerrada entre paneles es del tipo machihembrada.

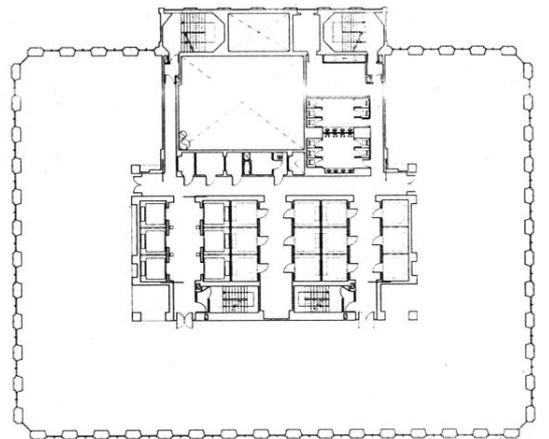
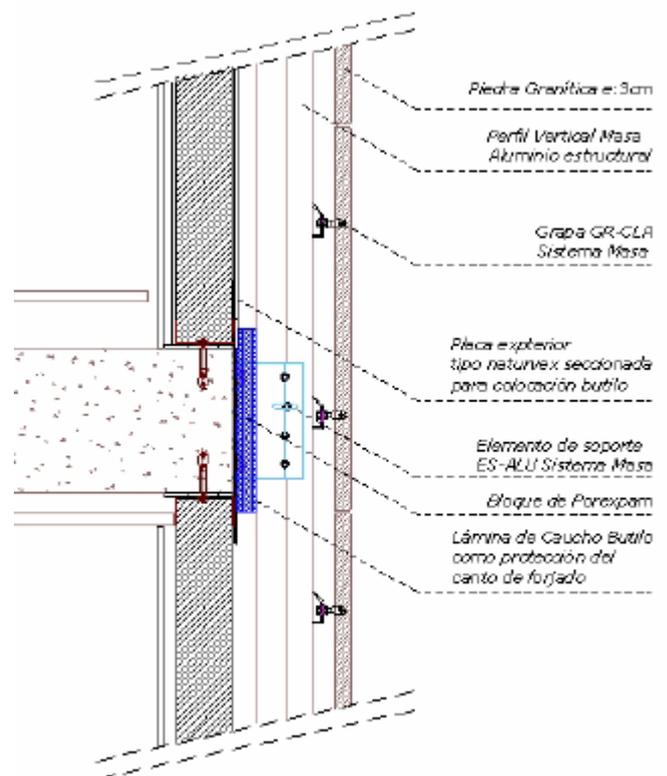


Fig. Planta y sección en 3d de la Torre Picasso.

Fig. Fachada combinada con muro cortina de vidrio y paneles sándwich de aluminio en la Torre Picasso, de Minoru Yamasaki. (Madrid, 1988, 157 m. de altura)

4ª FACHADA: FACHADA TRASVENTILADA DE PIEDRA COLGADA

La fachada trasventilada de piedra colgada está formada por dos hojas. La hoja interior está hecha de una lámina de yeso laminado de 15 mm. de grosor sujeta mediante una estructura de montantes de acero galvanizado, formando una cámara de 90 mm. rellena de lana de roca, revestida en su cara exterior con una chapa grecada de acero galvanizado y aislamiento térmico de lana de vidrio de 50 mm. de grosor, de forma que pasan por delante del forjado evitando la aparición de puentes térmicos. La hoja exterior está hecha de placas de piedra colgada de granito de 3 cm. de espesor y densidad 2.650 kg/m³, sujeta mediante fijaciones de acero inoxidable. Por último, hay una cámara de aire ventilada entre ambas hojas. Las fachadas con cámara serán de cámara confinada o sectorizada. El confinamiento se realizará por medio de los perfiles de aluminio de la subestructura de soporte de la fachada. De esta forma, el acabado que coloquemos en el exterior no trabajará a flexión, pudiendo ir a grosores de placas mucho más delgadas y haciendo que pesen menos.



Detalle constructivo del Hotel AC.

Fig. Ejemplo de fachada trasventilada de piedra colgada del Hotel AC, de Josep Lluís Mateo. (Barcelona, 2004, 88 m. de altura).

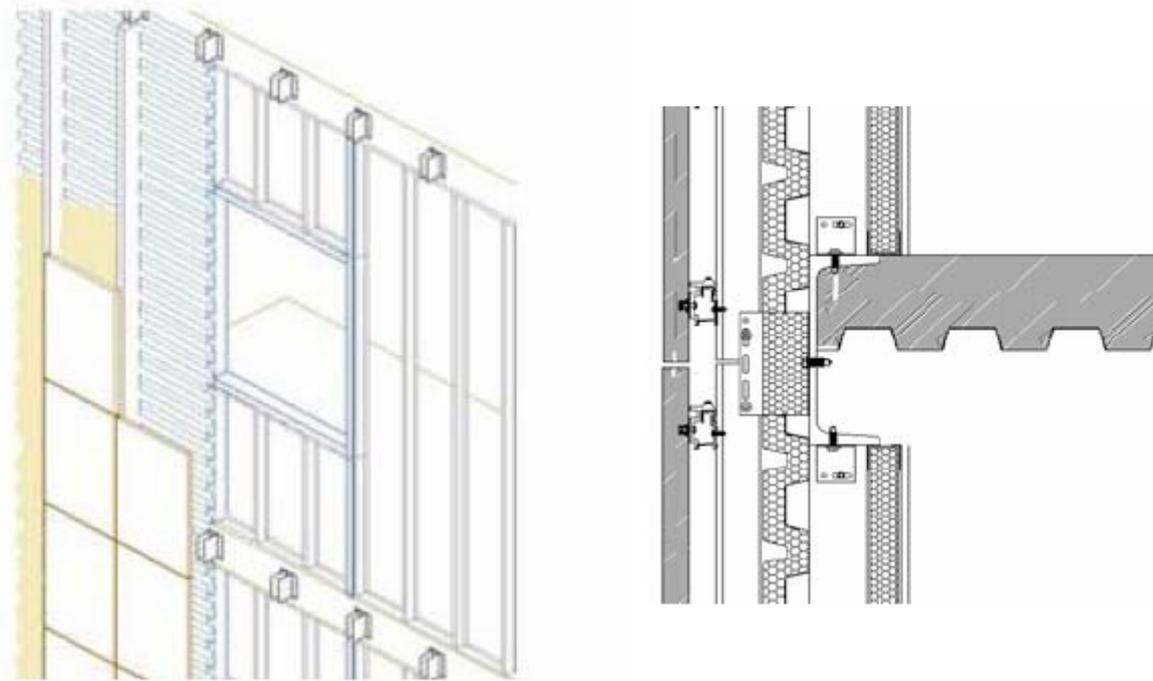


Fig. Axonometría y sección de la solución propuesta para la fachada ventilada del rascacielos. Fuente: Paricio ⁶.

El aligeramiento de la hoja interior de la fachada transventilada (del ladrillo que se utiliza habitualmente a la placa de yeso laminado) hace que los montantes de acero galvanizado asuman la función resistente frente a los empujes del viento. Nos ofrece una solución de hoja interior mucho más rápida en su ejecución, más ligera, y por consiguiente más sostenible desde el punto de vista estructural y ambiental, y nos abre nuevos campos a desarrollar en el diseño y composición de estas fachadas.

⁶ Paricio, Ignacio; Pardal, Cristina, *La fachada ventilada y ligera*, Ed. Bisagra, Barcelona, noviembre 2006. p. 64.

5ª FACHADA: FACHADA TRASVENTILADA VERDE

Si tenemos en cuenta que las plantas no necesitan tierra, ya que ésta solo sirve de soporte mecánico; y que para que éstas crezcan sólo son necesarios luz, CO₂, agua y los minerales y nutrientes en ella disueltos, es perfectamente posible levantar en vertical el plano horizontal verde al que normalmente estamos acostumbrados y construir auténticos jardines verticales verdes en las fachadas de nuestros rascacielos.

La naturaleza nos ofrece numerosos ejemplos de jardines verticales verdes, como los jardines del parque Pumalin de Chile.



Fig. Vegetación vertical en el parque Pumalin de Chile.

Si acudimos a nuestros antepasados podemos rememorar otros referentes históricos en los que también se ven jardines verticales. Un buen ejemplo es una de las siete maravillas del mundo: los Jardines Colgantes de Babilonia. Se cree que fueron construidos por Nabucodonosor en el siglo VII a.C. en honor a su esposa la reina Semirami por la añoranza que ésta sentía de los bosques y las plantas de su tierra natal.



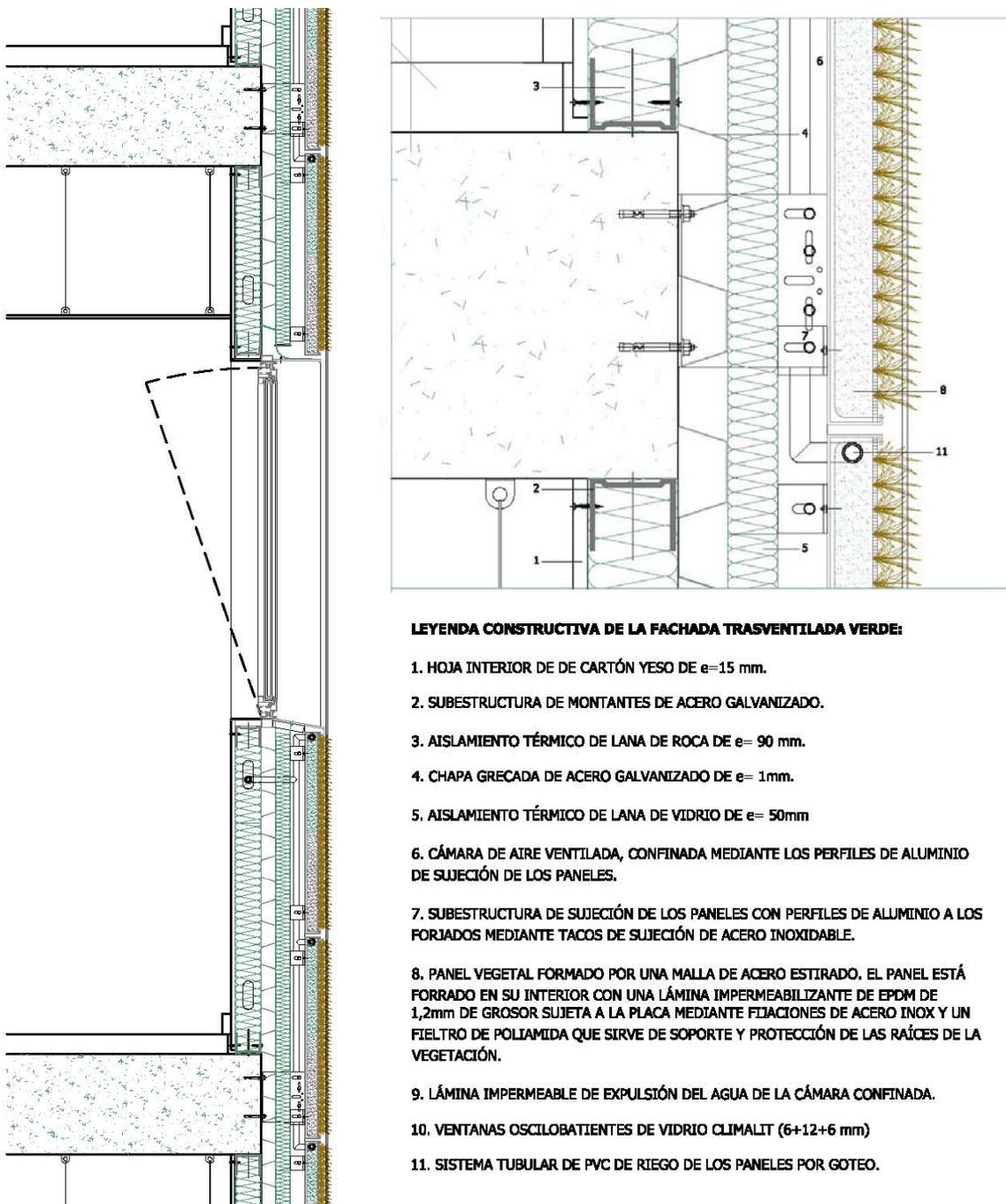
Fig. Grabado de Martin Van Heemskerck de los Jardines de Babilonia.

En la actualidad existen numerosos ejemplos de edificios con fachadas verdes, como el museo Quay Branly, en París, de Jean Nouvel.



La fachada trasventilada verde propuesta en el estudio está formada por dos hojas. La hoja interior está hecha de una lámina de yeso laminado de 15 mm. de grosor sujeta mediante una estructura de montantes de acero galvanizado, formando una cámara de 90 mm. rellena de lana de roca, forrada en su cara exterior con una chapa grecada de acero galvanizado y placas de aislamiento térmico de lana de vidrio de 50 mm. de grosor, de forma que pasan por delante del forjado evitando la aparición de puentes térmicos.

La hoja exterior está hecha de paneles de malla de acero estirado de los que emergen las plantas que forman la fachada exterior, sujeta mediante fijaciones de acero inoxidable. Por último, hay una cámara de aire ventilada entre ambas hojas.



Las fachadas con cámara serán de cámara confinada o sectorizada. El confinamiento se realizará por medio de los perfiles de aluminio de la subestructura de soporte de la fachada. De esta forma, el acabado que coloquemos en el exterior no trabajará a flexión, pudiendo ir a grosores de placas mucho más delgados y haciendo que pesen menos.

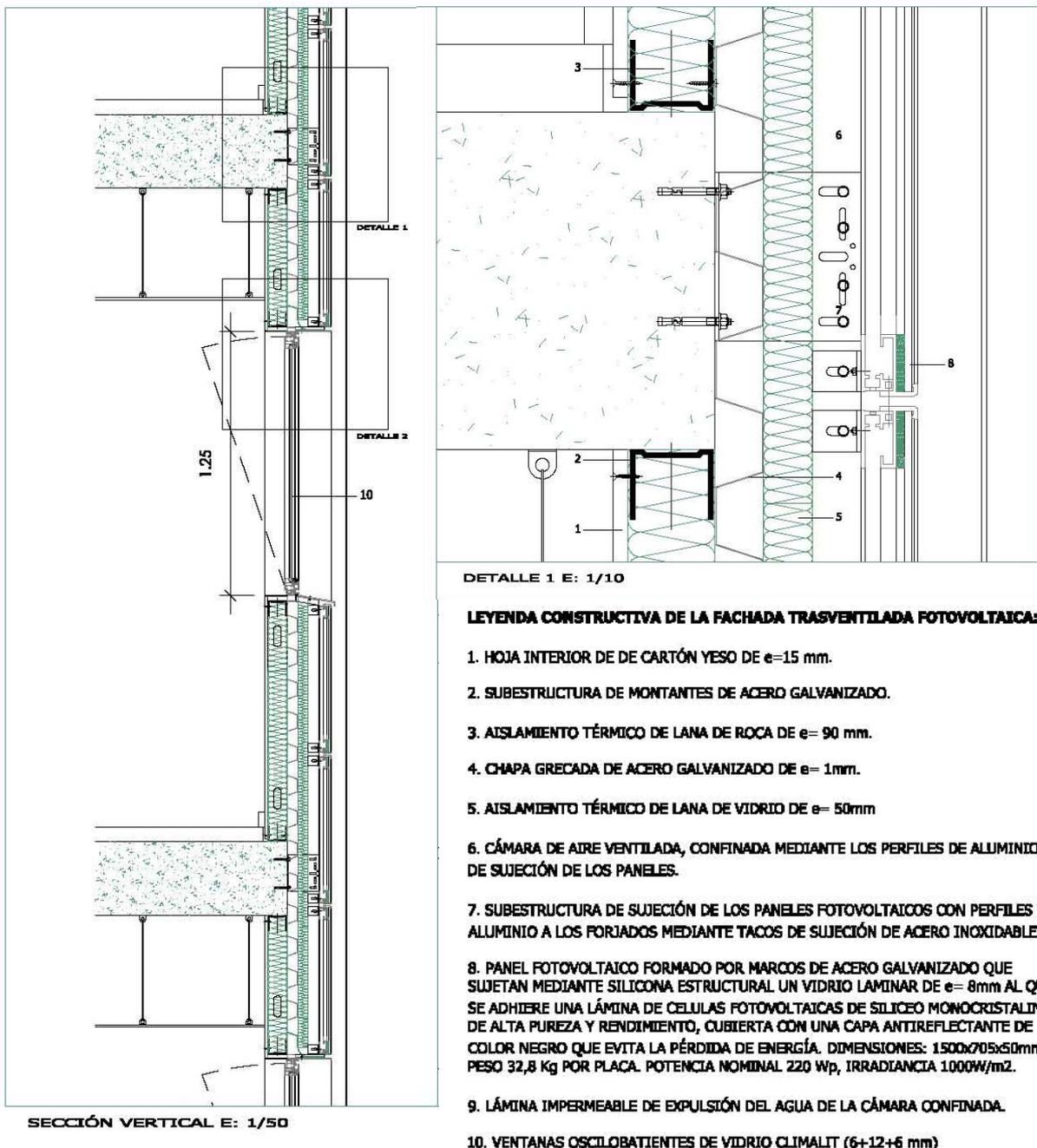
Los paneles están forrados en su interior con una lámina impermeabilizante de EPDM de 1,2 mm de grosor sujeta a la placa mediante fijaciones de acero inoxidable y un fieltro de poliamida que sirve de soporte y protección de las raíces de la vegetación, evitando que éstas penetren hacia el interior y produzcan lesiones.

El caucho EPDM se trata de una membrana monocapa de caucho semi-sintético obtenido del Etileno Propileno Dieno Monómero (EPDM). Es un impermeabilizante coherente con la construcción sostenible, es una membrana impermeable con cadena molecular principal totalmente saturada, por lo tanto inerte, no sufre migraciones al medio ambiente, tampoco le afecta la oxidación, la degradación por ozono o por radiaciones UV. Las expectativas de vida alcanzan los cincuenta años a intemperie, ofreciendo máxima longevidad y por lo tanto máximo ahorro energético.

El mantenimiento de las plantas se hará con un sistema de riego por goteo, con la ventaja de que al estar el jardín en posición vertical se gasta mucha menos agua por la menor evaporación de ésta al ambiente.

6ª FACHADA: FACHADA TRASVENTILADA FOTOVOLTAICA

La fachada trasventilada de placas fotovoltaicas está formada por dos hojas. La hoja interior está hecha de una lámina de yeso laminado de 15 mm. de grosor sujeta mediante una estructura de montantes de acero galvanizado, formando una cámara de 90 mm. rellena de lana de roca, revestida en su cara exterior con una chapa grecada de acero galvanizado y aislamiento térmico de lana de vidrio de 50 mm. de grosor, de forma que pasan por delante del forjado evitando la aparición de puentes térmicos. La hoja exterior está hecha de paneles con placas de captación de energía fotovoltaica. Por último, hay una cámara de aire ventilada entre ambas hojas.



Los paneles fotovoltaicos están fijados a los montantes de acero galvanizado por medio de una subestructura de aluminio sujeta con perfiles de acero inoxidable al forjado y están formados por un marco de acero galvanizado que sujeta mediante silicona estructural un vidrio laminar de 8 mm. de grosor al que se adhiere una lámina de células fotovoltaicas de silíceo monocristalino de alta pureza y rendimiento, cubierta con una capa antirreflectante de color negro que evita la pérdida de energía. Tiene un rendimiento mínimo del 20%. Las dimensiones de las placas son de 1500 x 705x 50 mm. Pesan 32,8 kg/placa. Tienen una garantía de duración de 25 años, una potencia nominal de 220 Wp y una irradiancia de 1000 W/m². El revestimiento de las fachadas este, sur y oeste será de placas fotovoltaicas, mientras que en el lado norte, debido a su nulo asoleo, será de placas de piedra de granito colgada.

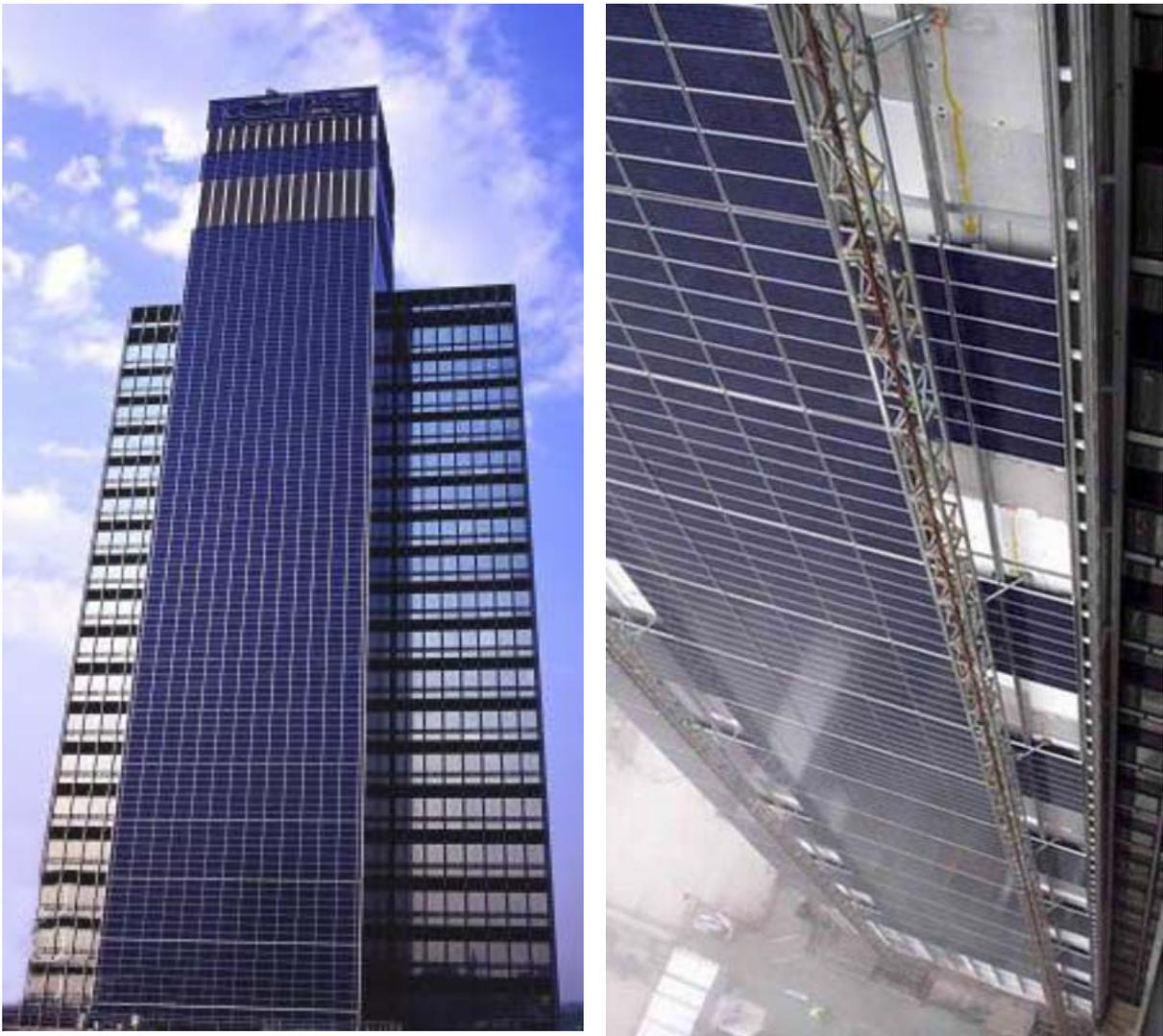


Fig. Ejemplo de fachada fotovoltaica en edificación en altura. Torre CISS, Manchester.

6.3 ESTUDIO DE LA ENERGÍA Y EMISIONES NECESARIAS EN EL CICLO DE VIDA COMPLETO DE 6 FACHADAS PARA EL RASCACIELOS.

En este capítulo cuantificaremos y analizaremos el impacto ambiental de 6 fachadas distintas del rascacielos 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 2, 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:

- 6.3.1 Estudio de la energía y emisiones necesarias para la extracción y producción de materiales para la construcción del edificio.
- 6.3.2 Estudio de la energía y emisiones necesarias para el transporte de materiales a la obra.
- 6.3.3 Estudio de la energía y emisiones necesarias para la construcción del edificio.
- 6.3.4 Estudio de la energía y emisiones necesarias para el uso y mantenimiento del edificio.
- 6.3.5 Estudio de la energía y emisiones necesarias para la demolición del edificio.
- 6.3.6 Síntesis del Análisis del Ciclo de Vida de las 6 fachadas. Conclusiones.

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

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 del rascacielos en sus 6 versiones de fachadas distintas. 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 ⁷.

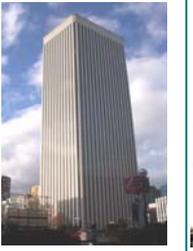
* PESO, CONTENIDO ENERGÉTICO Y EMISIONES DERIVADOS DE LA EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:

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
	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	Pintura	27,11 MJ/m ²	4 Kg CO ₂ /m ²	0,55 Kg/m ²
	Tabique de yeso laminado	765,31 MJ/m ²	54,64 Kg CO ₂ /m ²	51,31 Kg/m ²
	Trasdosado de yeso laminado	630,01 MJ/m ²	48,4 Kg CO ₂ /m ²	26,54 Kg/m ²
	Chapa grecada de acero galvanizado (1mm)	359,48 MJ/m ²	28,75 KgCO ₂ /m ²	10,33 Kg/m ²
	Poliestireno expandido (5 cm de espesor)	120 MJ/m ²	17,64 KgCO ₂ /m ²	1 Kg/m ²
	Lana de vidrio (5 cm de espesor)	69,24 MJ/m ²	2,34 KgCO ₂ /m ²	1,44 Kg/m ²
	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 aluminio	663,88 MJ/m ²	195,18 Kg CO ₂ /m ²	5,86 Kg/m ²
	Piedra de granito	469,05 MJ/m ²	7,5 Kg CO ₂ /m ²	79,5 Kg/m ²
	Panel Verde	488,54 MJ/m ²	53,18 Kg CO ₂ /m ²	28,69 Kg/m ²
	Panel Fotovoltaico	853,4 MJ/m ²	64 Kg CO ₂ /m ²	31,26 Kg/m ²
	Vidrio aislante laminado 10/12/6+6 mm	962,23 MJ/m ²	59,64 Kg CO ₂ /m ²	57,63 Kg/m ²
	Vidrio stadip 4+4+0,76 mm	342,72 MJ/m ²	21,32 KgCO ₂ /m ²	20,92 Kg/m ²
	Perfiles de aluminio lacado del vidrio	1.058,27 MJ/ml	60,70 Kg CO ₂ /ml	6,55 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 del rascacielos en sus 6 versiones de fachadas distintas. A continuación se refleja el resumen de los mismos:

⁷ 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:

MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
						
Seagram	1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
Energía (MJ.)	228.124.309,21	232.216.040,98	217.700.727,06	222.152.995,85	222.416.331,86	225.743.146,85
Emisiones CO2 (Kg.)	21.430.907,85	21.686.313,21	22.996.499,36	20.940.350,00	21.557.548,01	21.468.107,95

CONCLUSIONES:

1. De las tipologías de fachadas propuestas para el modelo de rascacielos Seagram, la que menos energía necesita para su fabricación es la de paneles de aluminio. Sin embargo, a su vez, es la que más emisiones de CO₂ produce. La razón de tal contradicción se da en la gran cantidad de emisiones de que produce para la fabricación del aluminio. Si en su lugar se utilizase aluminio reciclado, esta cifra descendería considerablemente, hasta el punto de convertirla en la solución más sostenible de las propuestas.

2. La fachada que tiene globalmente un impacto medioambiental menor es la fachada trasventilada de granito, gracias a las pocas emisiones y energía necesaria para la fabricación del granito.

3. Las fachadas trasventiladas verdes y fotovoltaicas, pese a ser soluciones consideradas como “sostenibles”, en este etapa requieren una alta cantidad de energía y emisiones, por lo que quedan en una posición intermedia en la clasificación de la fachada más sostenible.

4. La fachada que tiene globalmente un impacto medioambiental mayor en la fase de fabricación y extracción de materiales es la fachada de doble piel de vidrio con cámara ventilada, debido al importante aumento de la superficie a construir de vidrio.

6.3.2 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 rascacielos.

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 ⁸ 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
	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	Pintura	0,55 Kg/m2
	Tabique de yeso laminado	51,31 Kg/m2
	Trasdosado de yeso laminado	26,54 Kg/m2
	Chapa grecada de acero galvanizado (1mm)	10,33 Kg/m2
	Poliestireno expandido (5 cm de espesor)	1 Kg/m2
	Lana de vidrio (5 cm de espesor)	1,44 Kg/m2
	Subest. perfiles Aluminio y grapas acero inox.	3,08 Kg/m2
	Fachada ligera de panel sándwich de aluminio	5,86 Kg/m2
	Piedra de granito	79,5 Kg/m2
	Panel Verde	28,69 Kg/m2
	Panel Fotovoltaico	31,26 Kg/m2
	Vidrio aislante laminado 10/12/6+6 mm	57,63 Kg/m2
	Vidrio stadip 4+4+0,76 mm	20,92 Kg/m2
	Perfiles de aluminio lacado del vidrio	6,55 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 del rascacielos en sus 6 versiones de fachadas distintas. 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 EL TRANSPORTE DE MATERIALES A LA

OBRA:

MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
						
Seagram	1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
Energia (M.J.)	10.751.521,75	10.794.309,33	10.663.292,63	10.897.406,39	10.781.825,37	10.821.542,81
Emisiones CO2 (Kg.)	856.896,28	860.306,45	849.864,42	868.523,29	859.311,48	862.476,96

CONCLUSIONES:

1. En esta fase de transporte de materiales a la obra, el factor clave es el peso; cuanto menos pese el edificio, menor impacto ambiental tendrá el mismo. El rascacielos con fachada de paneles de aluminio es el que menos pesa; por consiguiente, es el que menos energía y emisiones de CO₂ requiere en lo que a transporte de materiales se refiere.

2. En esta fase, la fachada que tiene un impacto medioambiental mayor es la fachada trasventilada de granito, por el mayor peso de las losas de granito respecto de otros acabados.

6.3.3 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 ⁹ 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 del rascacielos en sus 6 versiones de fachadas distintas. A continuación se refleja el resumen de los mismos:

⁹ 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:

MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
						
Seagram	1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
Energía (MJ.)	20.100.671,10	20.180.665,27	19.935.721,00	20.373.411,96	20.157.325,69	20.231.580,03
Emisiones CO2 (Kg.)	2.406.050,33	2.415.625,63	2.386.305,80	2.438.697,41	2.412.831,89	2.421.720,13

CONCLUSIONES:

1. En esta fase de construcción del edificio, el factor clave es el peso; cuanto menos pese el edificio, menor impacto ambiental tendrá el mismo. El rascacielos con fachada de paneles de aluminio es el que menos pesa; por consiguiente, es el que menos energía y emisiones de CO₂ requiere en lo que a la construcción se refiere.

2. En esta fase, la fachada que tiene un impacto medioambiental mayor es la fachada trasventilada de granito, por el mayor peso de las losas de granito respecto de otros acabados.

6.3.4 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 ¹⁰:

Partida	Coefficiente de transmisión termica K W/m2K
Terreno	0,570
Muro Cortina de vidrio	1,880
Fachada de paneles de Aluminio	0,358
Fachada Trasventilada	0,245
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 ¹¹. 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
	Sustitución de placas verdes	25	502,4 MJ/m2	54,64 Kg CO2/m2
	Sustitución de placas fotovoltaicas	25	868,5 MJ/m2	65,59 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

¹⁰ CTE-DB-HE Código Técnico de la Edificación,

¹¹ [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.

*CÁLCULO DE LA ENERGÍA CAPTADA POR LAS PLACAS FOTOVOLTAICAS:

Para el cálculo de la energía captada por las placas solares de la fachada trasventilada fotovoltaica, hemos recurrido a las fórmulas descritas en el CTE ¹². Los sistemas que conforman la instalación solar fotovoltaica conectada a la red son los siguientes:

- a) sistema generador fotovoltaico, compuesto de módulos que a su vez contienen un conjunto elementos semiconductores conectados entre si, denominados células, y que transforman la energía solar en energía eléctrica;
- b) inversor que transforma la corriente continua producida por los módulos en corriente alterna de las mismas características que la de la red eléctrica;
- c) conjunto de protecciones, elementos de seguridad, de maniobra, de medida y auxiliares.

Se entiende por potencia pico o potencia máxima del generador aquella que puede entregar el módulo en las condiciones estándares de medida. Estas condiciones se definen del modo siguiente:

- a) irradiancia 1000 W/m²;
- b) distribución espectral AM 1,5 G;
- c) incidencia normal;
- d) temperatura de la célula 25 °C.



Fig. Modelo de placa solar fotovoltaica para las fachadas.

¹² Código Técnico de la Edificación. CTE-DB-HE-5. Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

*ZONAS CLIMÁTICAS:

En la tabla 3.1 y en la figura 3.1 se marcan los límites de zonas homogéneas a efectos de la exigencia. Las zonas se han definido teniendo en cuenta la Radiación Solar Global media diaria anual sobre superficie horizontal (H), tomando los intervalos que se relacionan para cada una de las zonas.

Se ha tomado como referencia de la radiación solar Global, la media aritmética en las zonas II y IV correspondientes a Barcelona y Madrid, por tanto 14,4 y 17,3 MJ/m² respectivamente.

Tabla 3.1 Radiación solar Global

Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

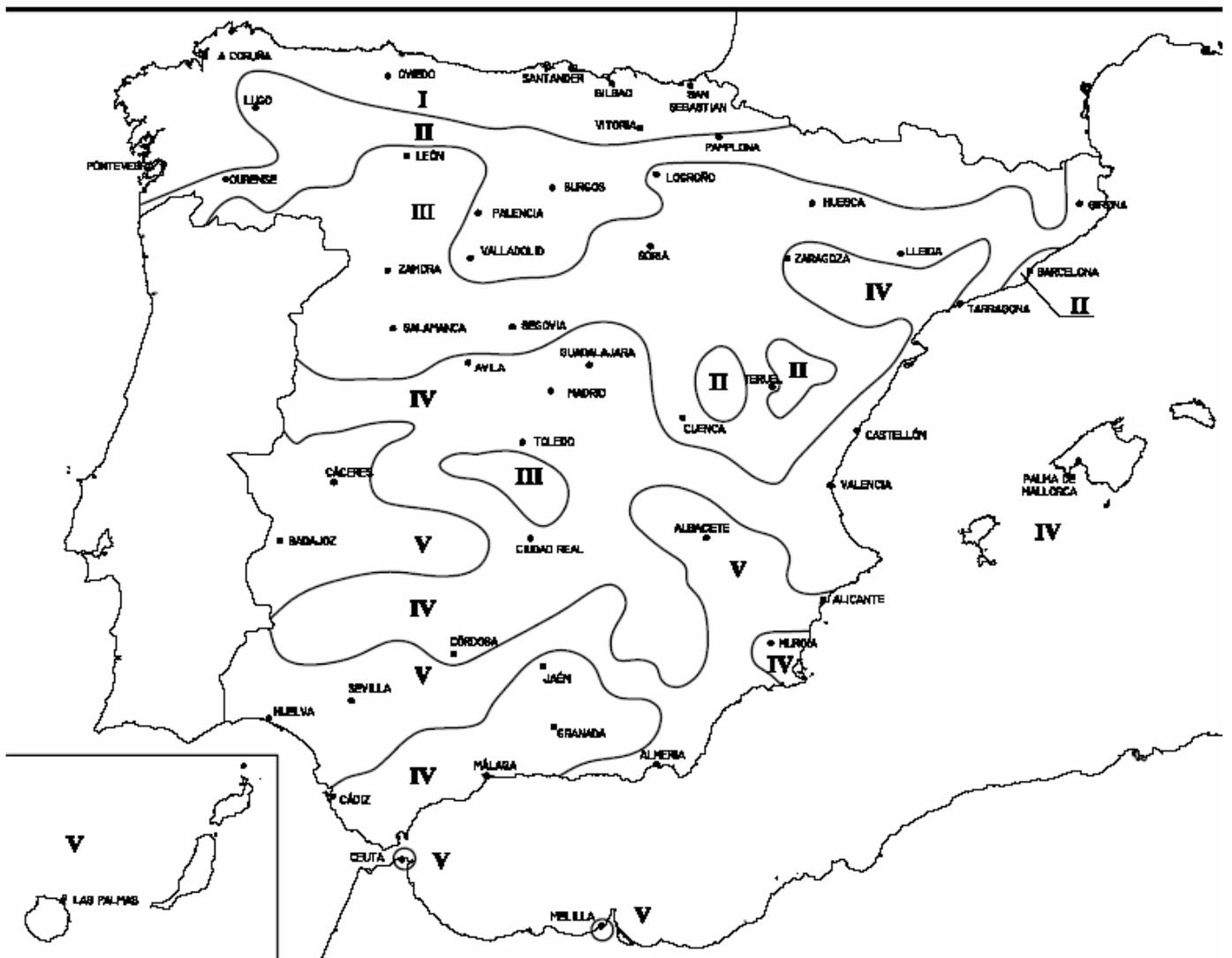


Figura 3.1 Zonas climáticas

*CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN:

El objeto de este apartado es determinar los límites en la orientación e inclinación de los módulos de acuerdo a las pérdidas máximas permisibles. Las pérdidas por este concepto se calcularán en función de:

- a) **ángulo de inclinación, β** definido como el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0 para módulos horizontales y 90° para verticales;
- b) **ángulo de acimut, α** definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y +90° para módulos orientados al oeste.

Nota: α , β , ϕ se expresan en grados sexagesimales, siendo ϕ la latitud del lugar.

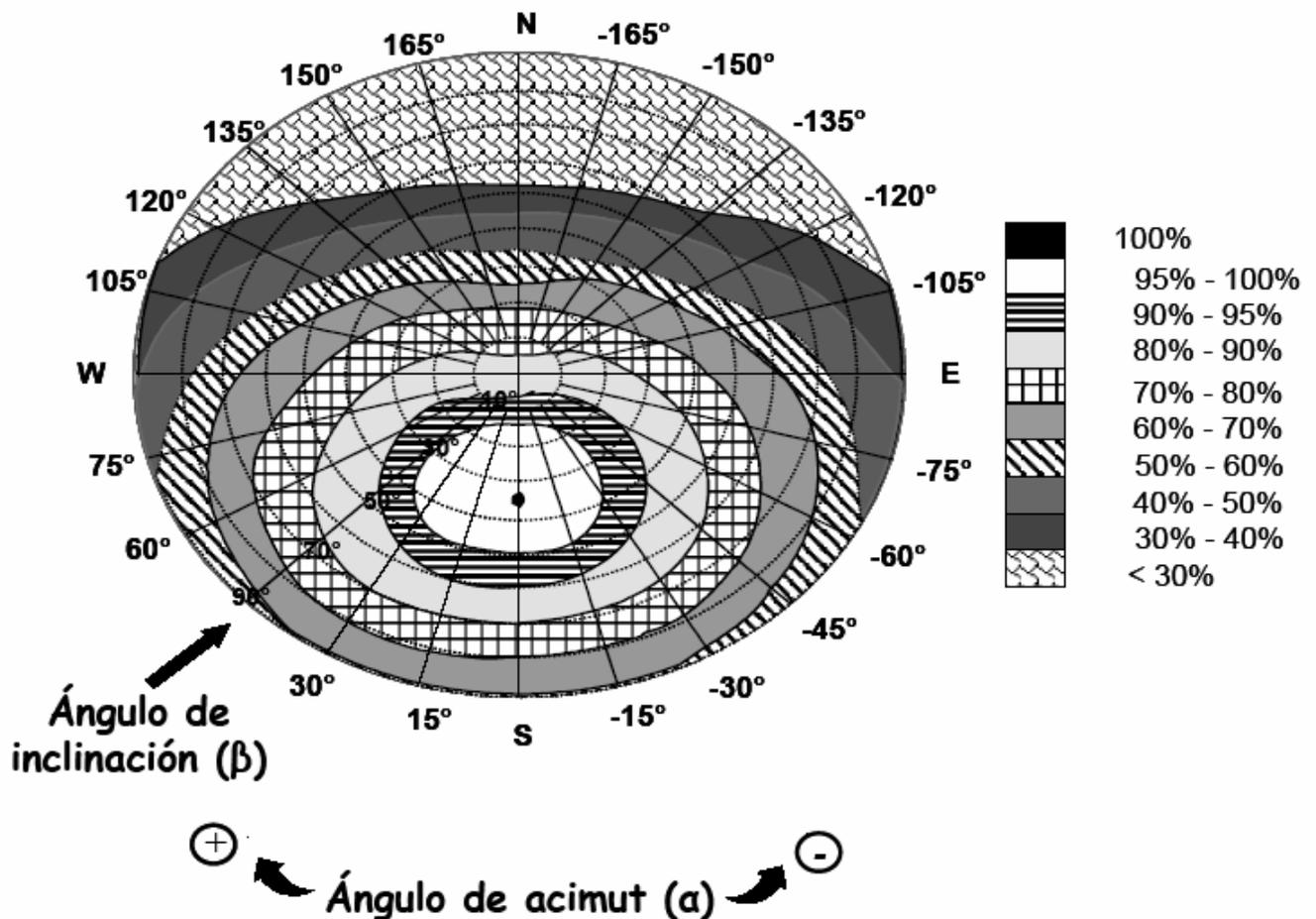


Figura 3.3.

Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.

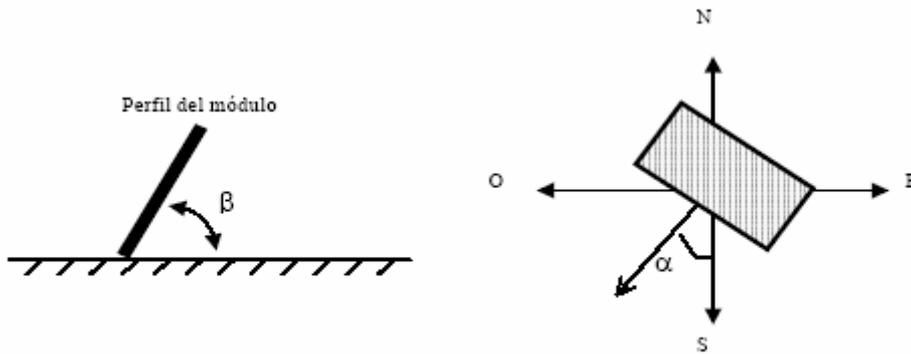


Figura 3.2 Orientación e inclinación de los módulos

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot \left[1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2 \right] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

Latitud ϕ Barcelona = 41°

Latitud ϕ Madrid = 40°

*CÁLCULO DEL CO₂ ABSORBIDO POR LA FACHADA TRASVENTILADA VERDE:

Para el cálculo de la cantidad de la cantidad de CO₂ neto que es capaz de secuestrar la fachada trasventilada verde, hemos considerado la grama (*Paspalum paspalodes*) como planta de acabado con una tasa neta de captación de CO₂ de 1,5 Kg CO₂/año m².¹³

En el capítulo 10, se puede consultar el anexo de cálculos con los resultados pormenorizados del impacto ambiental derivado del uso y mantenimiento del rascacielos en sus 6 versiones de fachadas distintas. A continuación se refleja el resumen de los mismos:

¹³ Figueroa Clemente, Manuel Enrique; Redondo Gómez, Susana; *Los sumideros naturales de CO₂. Una estrategia sostenible entre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial*. Universidad de Sevilla, Junio 2007, pág. 202.

IMPACTO AMBIENTAL DERIVADO DEL USO DEL RASCACIELOS EN 1 AÑO:

MODELO SEAGRAM

BARCELONA

RESUMEN ENERGIA Y EMISIONES DERIVADAS DEL USO DURANTE 1 AÑO								
Modelo	Fachada	Consumo Energía (kWh/m3 año)	Consumo Energía 1 año (kWh)	Consumo Energía 1 año (MJ)	Captación Energía (MJ) 1 año	Captación CO2 (Kg CO2) 1 año	Consumo Final Energía 1 año (MJ)	Emisiones 1 año CO2 (Kg.)
Seagram	1. Muro cortina de vidrio	27,28	5.224.665,60	18.808.796,16			18.808.796,16	2.577.748,12
	2. Doble piel ventilada	17,05	3.265.416,00	11.755.497,60			11.755.497,60	1.918.972,94
	3. Paneles de Aluminio	26,68	5.109.753,60	18.395.112,96			18.395.112,96	2.683.850,20
	4. Fachada Ventilada de piedra	26,64	5.102.092,80	18.367.534,08			18.367.534,08	2.692.514,56
	5. Fachada Ventilada verde	26,64	5.102.092,80	18.367.534,08		20.268,45	18.367.534,08	2.672.246,11
	6. Fachada Ventilada fotovoltaica	26,64	5.102.092,80	18.367.534,08	20.891.234,90	3.154.574,55	-2.523.700,82	-462.059,99

MADRID

RESUMEN ENERGIA Y EMISIONES DERIVADAS DEL USO DURANTE 1 AÑO								
Modelo	Fachada	Consumo Energía (kWh/m3 año)	Consumo Energía 1 año (kWh)	Consumo Energía 1 año (MJ)	Captación Energía (MJ) 1 año	Captación CO2 (Kg CO2) 1 año	Consumo Final Energía 1 año (MJ)	Emisiones 1 año CO2 (Kg.)
Seagram	1. Muro cortina de vidrio	30,08	5.760.921,60	20.739.317,76			20.739.317,76	2.589.986,25
	2. Doble piel ventilada	18,80	3.600.576,00	12.962.073,60			12.962.073,60	2.011.208,98
	3. Paneles de Aluminio	28,58	5.473.641,60	19.705.109,76			19.705.109,76	2.644.732,24
	4. Fachada Ventilada de piedra	28,46	5.450.659,20	19.622.373,12			19.622.373,12	2.651.123,26
	5. Fachada Ventilada verde	28,46	5.450.659,20	19.622.373,12		20.268,45	19.622.373,12	2.630.854,81
	6. Fachada Ventilada fotovoltaica	28,46	5.450.659,20	19.622.373,12	24.255.045,70	3.662.508,55	-4.632.672,58	-1.011.385,29

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

MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
						
Seagram	1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
Energía (MJ)	Barcelona 18.808.796,16 Madrid 20.739.317,76	11.755.497,60 12.962.073,60	18.395.112,96 19.705.109,76	18.367.534,08 19.622.373,12	18.367.534,08 19.622.373,12	-2.523.700,82 -4.632.672,58
Emisiones (Kg CO2)	Barcelona 2.577.748,12 Madrid 2.589.986,25	1.918.972,94 2.011.208,98	2.683.850,20 2.644.732,24	2.692.514,56 2.651.123,26	2.672.246,11 2.630.854,81	-462.059,99 -1.011.385,29

CONCLUSIONES:

1. En esta fase de uso del edificio, el rascacielos con la solución de fachada trasventilada fotovoltaica es el que tiene un impacto ambiental menor; de hecho, gracias a la captación de energía a través de las placas solares instaladas en sus fachadas sur, este y oeste, es capaz de aportar más energía de la que necesita para su funcionamiento.

La fachada de doble piel de vidrio con cámara se presenta como la mejor alternativa a la mencionada anteriormente. En realidad es la fachada pasiva más sostenible de las estudiadas (No hay que olvidar que la fachada trasventilada fotovoltaica no deja de ser una solución activa). Esto se debe a los beneficios energéticos que se derivan de ese espacio colchón ventilado que se crea entre ambas hojas. No es de extrañar que esta solución se extienda cada vez más en la edificación en altura.

2. En esta fase, la fachada que tiene un impacto medioambiental energético mayor es la de muro cortina de vidrio. Esto se debe al menor aislamiento térmico y mayor exposición de esta solución respecto al resto. Sin embargo, el rascacielos con muro cortina de vidrio no es el que produce el mayor impacto en emisiones de CO₂. La explicación la encontramos en que la solución de muro cortina necesita durante todo el año (especialmente en primavera y otoño) ligeramente más calefacción (produce pocas emisiones de CO₂) y menos refrigeración (produce más emisiones de CO₂) que otro tipo de fachadas como las trasventiladas o de panel sándwich de aluminio, en las que se da la situación inversa, debido a su mayor aislamiento térmico.

3. La fachada trasventilada verde, a pesar de ser una solución atractiva, secuestra un valor muy poco significativo de CO₂. Es capaz de fijar apenas 20.268 Kg de CO₂ al año, lo que equivale a una reducción de las emisiones de CO₂ durante un año en la fase de uso del edificio de apenas un 0,75% respecto a la fachada trasventilada de piedra.

Esta poca capacidad de absorción de CO₂ se debe al pequeño porte de las plantas que se pueden colgar en una fachada de estas características. Si quisiéramos aumentar este índice de secuestro de CO₂/m² año, deberíamos ir a plantas de mayor porte, pero aumentaríamos excesivamente el peso de las fachadas, lo que iría en contra del concepto de ligereza que, como hemos visto anteriormente, va completamente unido al de sostenibilidad.

En consecuencia, parece razonable que su aplicación en la edificación en altura se limite a las partes bajas del edificio (1/3 tercio de altura), en la que se puede apreciar mejor la vegetación desde la ciudad, donde es más fácil de ejecutar el mantenimiento de este tipo

de acabado y está menos expuesto al viento y otros agentes atmosféricos que la pueden dañar. Conviene resaltar que aunque la fachada trasventilada verde haya obtenido unos resultados de consumo energético iguales que los de una trasventilada de piedra, éstos deberían ser inferiores. La experiencia nos demuestra que el efecto adiabático de la evaporación del agua presente en las plantas de la fachada haría mejorar sensiblemente el microclima cercano a las fachadas, con la consiguiente disminución de consumo de energía, especialmente en épocas de calor. Sin embargo esto es un fenómeno difícilmente cuantificable con un programa de ordenador.

4. Respecto a las dos ciudades, excepto la fachada trasventilada fotovoltaica, en todas las soluciones se necesita más energía durante la fase de uso del edificio en Madrid que en Barcelona. En lo que se refiere a las emisiones, dependiendo del tipo de fachada funcionan mejor en una ciudad o en la otra. La fachada trasventilada fotovoltaica funciona mejor en Madrid que en Barcelona, ya que el índice de radiación solar global en Madrid es mayor que el de Barcelona.

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

MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
						
Seagram	1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
Energía (M.J.)	8.491.017,73	8.496.747,67	5.092.838,61	5.092.838,61	11.880.935,83	13.205.366,84
Emisiones CO2 (Kg.)	519.553,31	520.393,70	382.760,54	382.760,54	1.121.020,16	995.426,90

CONCLUSIONES:

1. En esta fase de mantenimiento del edificio, el rascacielos con la solución de fachada trasventilada fotovoltaica es la que tiene un impacto ambiental energéticamente mayor, debido al alto coste energético derivado de sustituir las placas fotovoltaicas cada 25 años.
2. La segunda fachada más costosa energéticamente de mantener es la fachada verde, que supera en emisiones de CO2 a la fotovoltaica porque tiene mayor superficie de fachada. La fachada verde también tiene un alto coste de mantenimiento, consecuencia de la necesidad

de sustituir las placas que conforman su fachada como mínimo cada 25 años. A parte de esto, habría que considerar el gasto continuo de regar y cuidar las plantas de la fachada, lo que es difícil de cuantificar energéticamente pero que casi con toda seguridad acabaría haciendo de esta fachada la más costosa de mantener durante su vida útil.

3. Las fachadas que tienen un menor impacto medioambiental derivado del mantenimiento son la fachada trasventilada de piedra y la de paneles sándwich de aluminio.

6.3.5 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 ¹⁴ 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 TCO 2000 para utilizarla.

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

Partida	Material	Energía MJ/m2	Emisiones Kg CO2/m2
Relleno	Tierras de aportación	2.542,01 MJ/m3	201,58 Kg CO2/m3
Demolición	Cimentación	506,50 MJ/m3	124,25 Kg CO2/m3
	Volumen con estructura de acero	22,08 MJ/m3	5,24 Kg CO2/m3
	Volumen con estructura de hormigón armado	72,30 MJ/m3	18,89 Kg CO2/m3
	Cubierta invertida	2,92 MJ/m2	0,76 Kg CO2/m2

En esta fase, los resultados obtenidos son los mismos para todos los rascacielos, debido a que el cálculo del impacto ambiental derivado de la demolición de los edificios se basa en información estadística en la que no se tienen en cuenta las distintas fachadas. Los resultados son los siguientes:

Partida	Material	Medición	Energía (MJ.)	% Energía	Emisiones CO2 (Kg.)	% Emisiones	% Emisiones
Cimentación	Hormigón losa	1.755,6 m3	889.211,40	9,28%	218.133,30	13,84%	13,84%
Relleno	Tierras de aportación	1.755,6 m3	4.462.752,76	46,56%	353.893,85	22,45%	22,45%
Volumen	Estructura Acero	191.520 m3	4.228.761,60	44,12%	1.003.564,80	63,66%	63,66%
Cubierta	Cubierta invertida	1.182,40 m2	3.452,61	0,04%	898,62	0,06%	0,06%
Total			9.584.178,36	100,00%	1.576.490,57	100,00%	

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

6.3.6 SINTESIS DEL ACV DE 6 FACHADAS DEL RASCACIELOS. CONCLUSIONES:

Este apartado es una síntesis de los anteriores. En él se van a sumar todas las fases del ciclo de vida de cada una de las fachadas del edificio en altura tipo Seagram hasta completar el ACV.

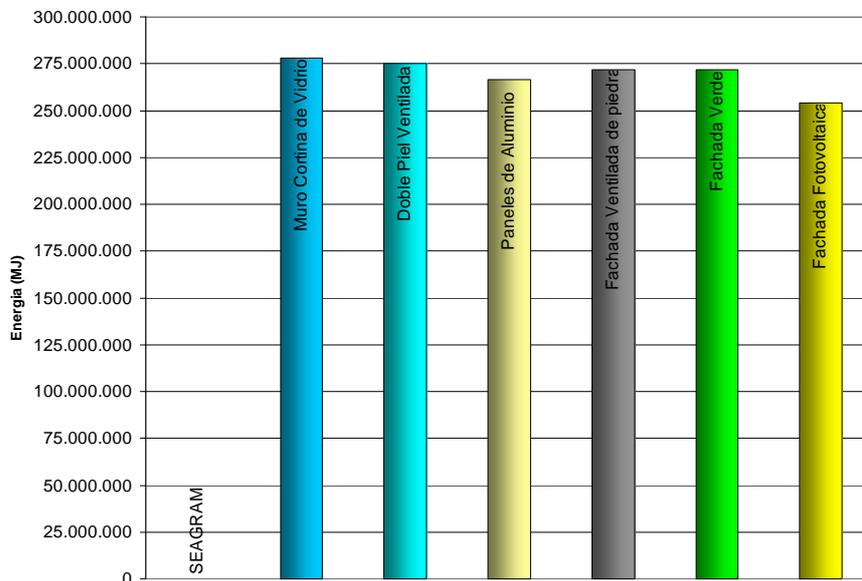
Estudiaremos el comportamiento de cada edificio al cabo de **1 año, 25, 50 75 y 100 años de su vida útil**, aplicándole los valores obtenidos en todos los cuadros de cada tipo (Producción + Transporte + Construcción + Uso + Mantenimiento + Demolición), obteniendo así unas cifras totales que nos permitirán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

Por último, se redactarán las conclusiones más significativas del estudio del ACV de las 6 fachadas del edificio en altura.

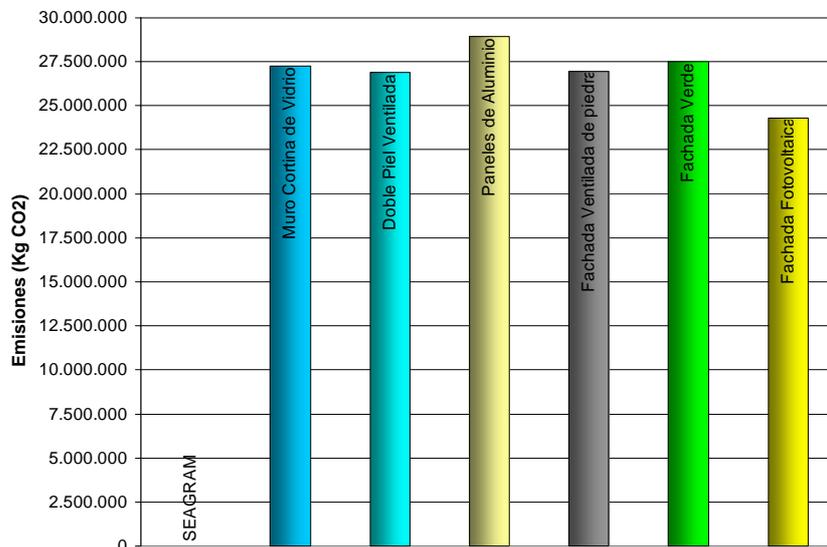
El impacto ambiental derivado de la demolición no se ha considerado en el caso del 1º año y de los 25 años, ya que es demasiado poco tiempo para demoler un edificio. De la misma forma, el mantenimiento no se toma en consideración hasta como mínimo 25 años de vida útil. Los valores que hemos obtenido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

RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS DEL MODELO SEAGRAM - 1º AÑO - BARCELONA							
ACV	MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
							
	SEAGRAM	1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
PRODUCCION	Energía (MJ.)	228.124.309,21	232.216.040,98	217.700.727,06	222.152.995,85	222.416.331,86	225.743.146,85
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.430.907,85	21.686.313,21	22.996.499,36	20.940.350,00	21.557.548,01	21.468.107,95
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.751.521,75	10.794.309,33	10.663.292,63	10.897.406,39	10.781.825,37	10.821.542,81
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	856.896,28	860.306,45	849.864,42	868.523,29	859.311,48	862.476,96
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.100.671,10	20.180.665,27	19.935.721,00	20.373.411,96	20.157.325,69	20.231.580,03
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.406.050,33	2.415.625,63	2.386.305,80	2.438.697,41	2.412.831,89	2.421.720,13
USO (1 AÑO)	Energía (MJ.)	18.808.796,16	11.755.497,60	18.395.112,96	18.367.534,08	18.367.534,08	-2.523.700,82
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.577.748,12	1.918.972,94	2.683.850,20	2.692.514,56	2.672.246,11	-462.059,99
TOTAL	Energía (MJ.)	277.785.298,23	274.946.513,17	266.694.853,65	271.791.348,28	271.723.017,01	254.272.568,87
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	27.271.602,59	26.881.218,23	28.916.519,78	26.940.085,27	27.501.937,49	24.290.245,05

CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 1 AÑO- BARCELONA

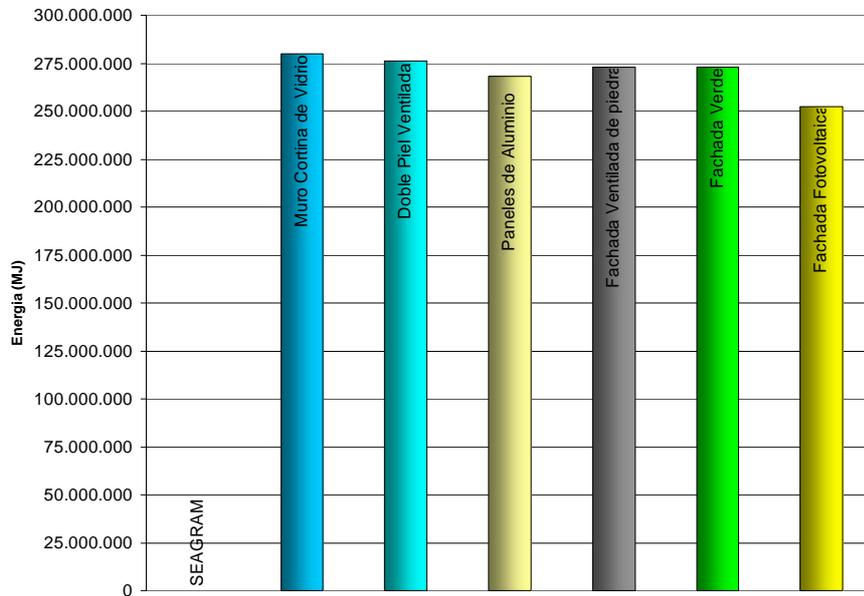


CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 1 AÑO- BARCELONA

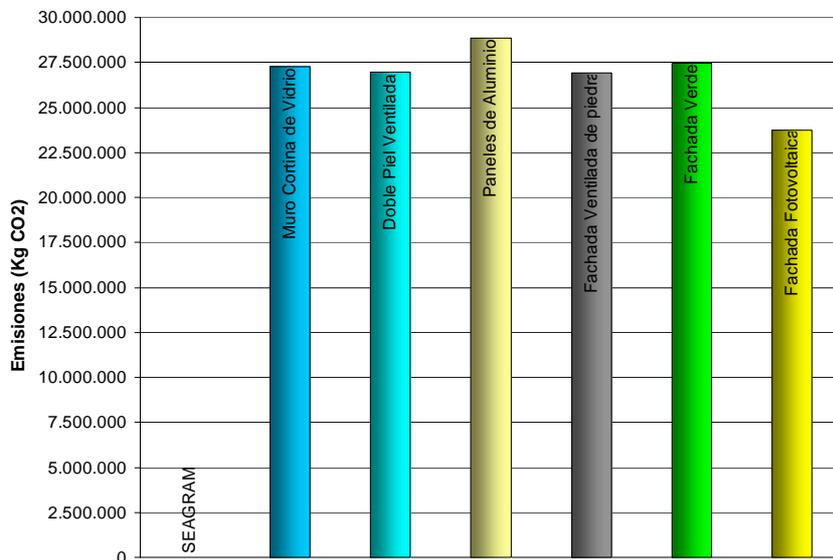


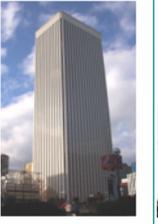
RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS DEL MODELO SEAGRAM - 1º AÑO - MADRID							
ACV	MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
	SEAGRAM						
		1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
PRODUCCION	Energía (M.J.)	228.124.309,21	232.216.040,98	217.700.727,06	222.152.995,85	222.416.331,86	225.743.146,85
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.430.907,85	21.686.313,21	22.996.499,36	20.940.350,00	21.557.548,01	21.468.107,95
TRANSPORTE	Energía (M.J.)	10.751.521,75	10.794.309,33	10.663.292,63	10.897.406,39	10.781.825,37	10.821.542,81
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	856.896,28	860.306,45	849.864,42	868.523,29	859.311,48	862.476,96
CONSTRUCCIÓN	Energía (M.J.)	20.100.671,10	20.180.665,27	19.935.721,00	20.373.411,96	20.157.325,69	20.231.580,03
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.406.050,33	2.415.625,63	2.386.305,80	2.438.697,41	2.412.831,89	2.421.720,13
USO (1 AÑO)	Energía (M.J.)	20.739.317,76	12.962.073,60	19.705.109,76	19.622.373,12	19.622.373,12	-4.632.672,58
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.589.986,25	2.011.208,98	2.644.732,24	2.651.123,26	2.630.854,81	-1.011.385,29
TOTAL	Energía (M.J.)	279.715.819,83	276.153.089,17	268.004.850,45	273.046.187,32	272.977.856,05	252.163.597,11
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	27.283.840,72	26.973.454,27	28.877.401,82	26.898.693,96	27.460.546,19	23.740.919,75

CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 1 AÑO- MADRID

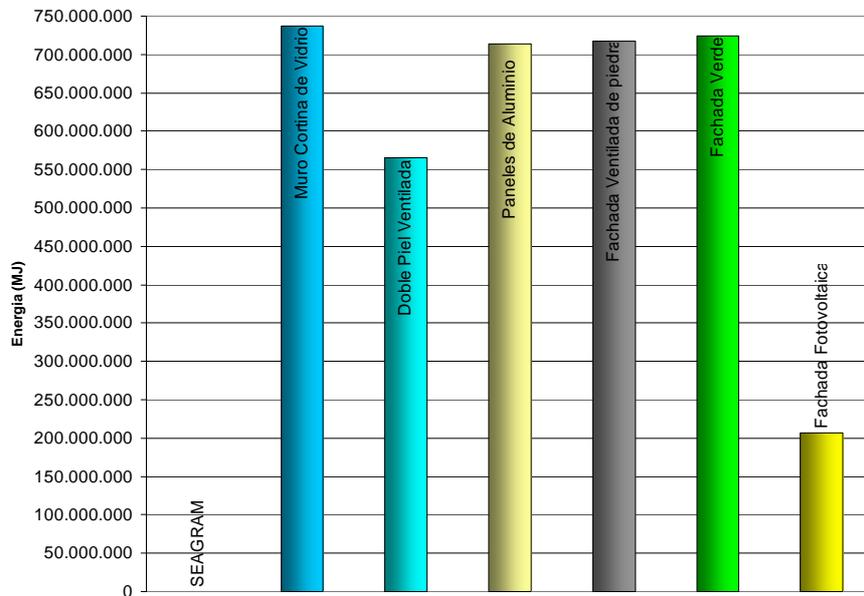


CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 1 AÑO- MADRID

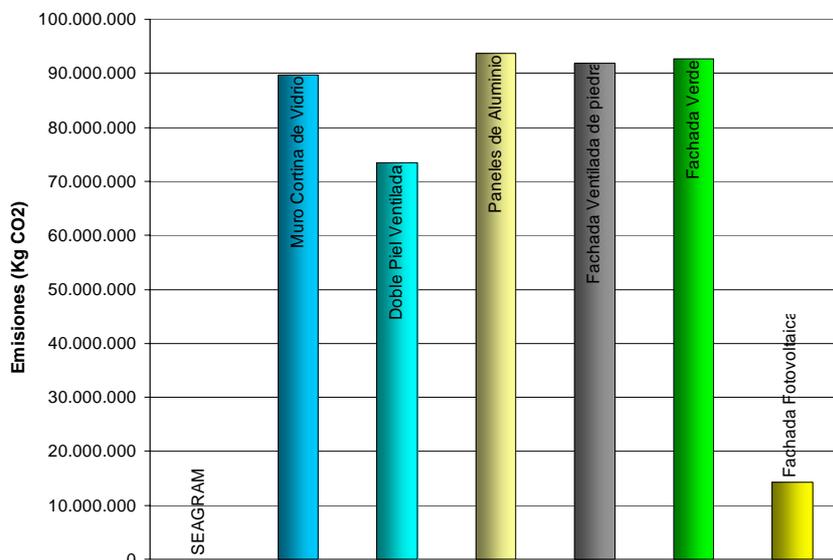


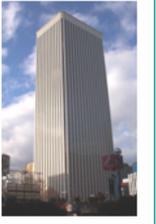
RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS DEL MODELO SEAGRAM - 25 AÑOS - BARCELONA							
ACV	MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
	SEAGRAM						
		1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
PRODUCCION	Energía (MJ.)	228.124.309,21	232.216.040,98	217.700.727,06	222.152.995,85	222.416.331,86	225.743.146,85
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.430.907,85	21.686.313,21	22.996.499,36	20.940.350,00	21.557.548,01	21.468.107,95
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.751.521,75	10.794.309,33	10.663.292,63	10.897.406,39	10.781.825,37	10.821.542,81
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	856.896,28	860.306,45	849.864,42	868.523,29	859.311,48	862.476,96
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.100.671,10	20.180.665,27	19.935.721,00	20.373.411,96	20.157.325,69	20.231.580,03
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.406.050,33	2.415.625,63	2.386.305,80	2.438.697,41	2.412.831,89	2.421.720,13
USO (25 AÑOS)	Energía (MJ.)	470.219.904,00	293.887.440,00	459.877.824,00	459.188.352,00	459.188.352,00	-63.092.520,50
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	64.443.703,00	47.974.323,50	67.096.254,96	67.312.864,08	66.806.152,75	-11.551.499,75
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	8.491.017,73	8.496.747,67	5.092.838,61	5.092.838,61	11.880.935,83	13.205.366,84
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	519.553,31	520.393,70	382.760,54	382.760,54	1.121.020,16	995.426,90
TOTAL	Energía (MJ.)	737.687.423,80	565.575.203,24	713.270.403,30	717.705.004,81	724.424.770,75	206.909.116,02
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	89.657.110,78	73.456.962,49	93.711.685,09	91.943.195,33	92.756.864,29	14.196.232,19

CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 25 AÑOS- BARCELONA

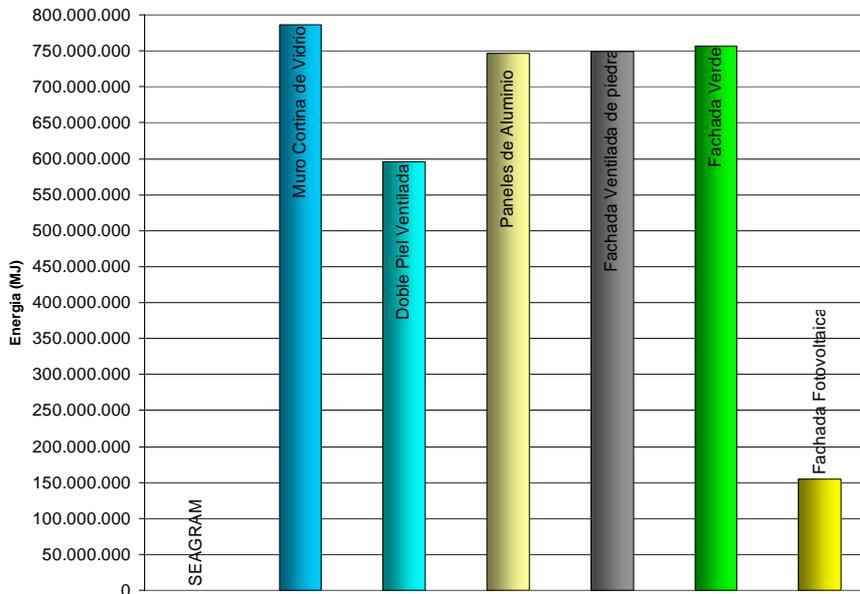


CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 25 AÑOS- BARCELONA

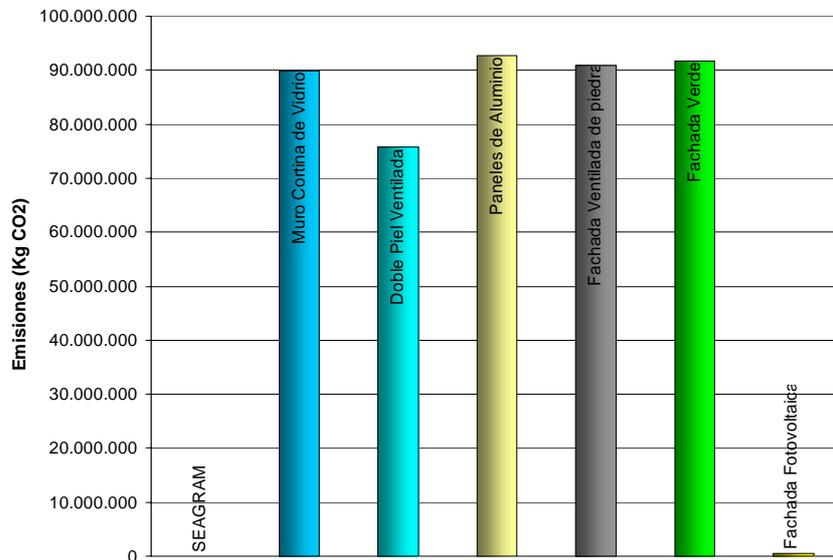


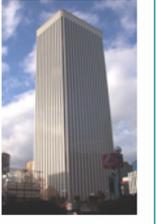
RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS DEL MODELO SEAGRAM - 25 AÑOS - MADRID							
ACV	MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
	SEAGRAM						
		1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
PRODUCCION	Energía (MJ.)	228.124.309,21	232.216.040,98	217.700.727,06	222.152.995,85	222.416.331,86	225.743.146,85
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.430.907,85	21.686.313,21	22.996.499,36	20.940.350,00	21.557.548,01	21.468.107,95
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.751.521,75	10.794.309,33	10.663.292,63	10.897.406,39	10.781.825,37	10.821.542,81
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	856.896,28	860.306,45	849.864,42	868.523,29	859.311,48	862.476,96
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.100.671,10	20.180.665,27	19.935.721,00	20.373.411,96	20.157.325,69	20.231.580,03
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.406.050,33	2.415.625,63	2.386.305,80	2.438.697,41	2.412.831,89	2.421.720,13
USO (25 AÑOS)	Energía (MJ.)	518.482.944,00	324.051.840,00	492.627.744,00	490.559.328,00	490.559.328,00	-115.816.814,50
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	64.749.656,25	50.280.224,50	66.118.305,96	66.278.081,52	65.771.370,25	-25.284.632,25
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	8.491.017,73	8.496.747,67	5.092.838,61	5.092.838,61	11.880.935,83	13.205.366,84
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	519.553,31	520.393,70	382.760,54	382.760,54	1.121.020,16	995.426,90
TOTAL	Energía (MJ.)	785.950.463,80	595.739.603,24	746.020.323,30	749.075.980,81	755.795.746,75	154.184.822,02
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	89.963.064,03	75.762.863,49	92.733.736,09	90.908.412,77	91.722.081,79	463.099,69

CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 25 AÑOS- MADRID

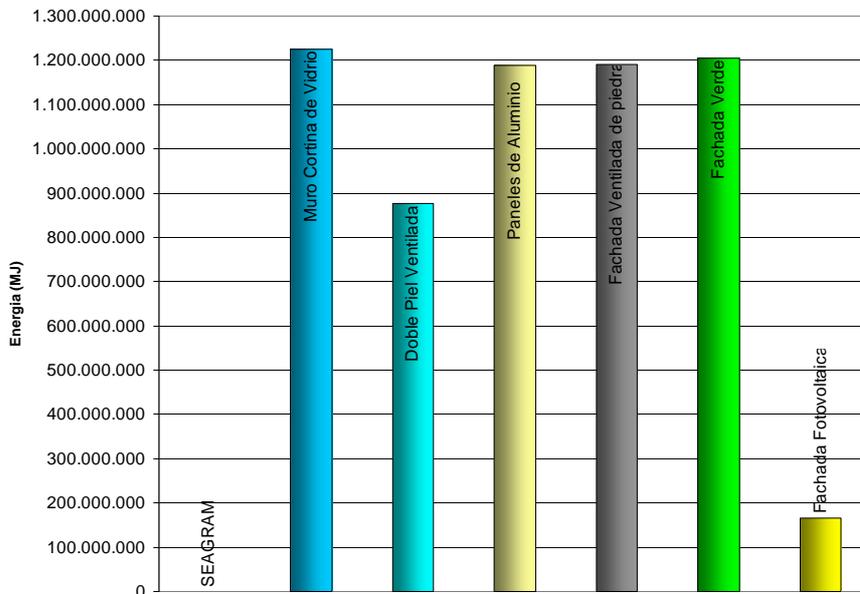


CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 25 AÑOS- MADRID

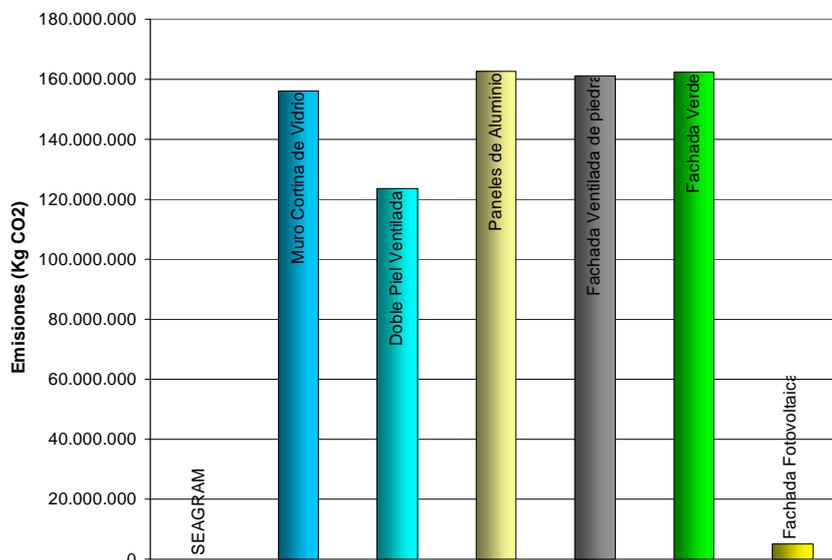


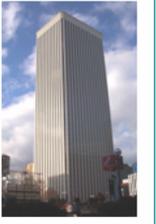
RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS DEL MODELO SEAGRAM - 50 AÑOS - BARCELONA							
ACV	MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
	SEAGRAM						
		1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
PRODUCCION	Energía (MJ.)	228.124.309,21	232.216.040,98	217.700.727,06	222.152.995,85	222.416.331,86	225.743.146,85
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.430.907,85	21.686.313,21	22.996.499,36	20.940.350,00	21.557.548,01	21.468.107,95
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.751.521,75	10.794.309,33	10.663.292,63	10.897.406,39	10.781.825,37	10.821.542,81
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	856.896,28	860.306,45	849.864,42	868.523,29	859.311,48	862.476,96
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.100.671,10	20.180.665,27	19.935.721,00	20.373.411,96	20.157.325,69	20.231.580,03
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.406.050,33	2.415.625,63	2.386.305,80	2.438.697,41	2.412.831,89	2.421.720,13
USO (50 AÑOS)	Energía (MJ.)	940.439.808,00	587.774.880,00	919.755.648,00	918.376.704,00	918.376.704,00	-126.185.041,00
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	128.887.406,00	95.948.647,00	134.192.509,92	134.625.728,16	133.612.305,50	-23.102.999,50
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	16.982.035,45	16.993.495,33	10.185.677,22	10.185.677,22	23.761.871,65	26.410.733,67
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.039.106,62	1.040.787,40	765.521,09	765.521,09	2.242.040,32	1.990.853,79
DEMOLICIÓN	Energía (MJ.)	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57
TOTAL	Energía (MJ.)	1.225.982.523,89	877.543.569,27	1.187.825.244,27	1.191.570.373,78	1.205.078.236,95	166.606.140,72
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	156.196.857,66	123.528.170,27	162.767.191,16	161.215.310,52	162.260.527,77	5.216.649,91

CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 50 AÑOS- BARCELONA

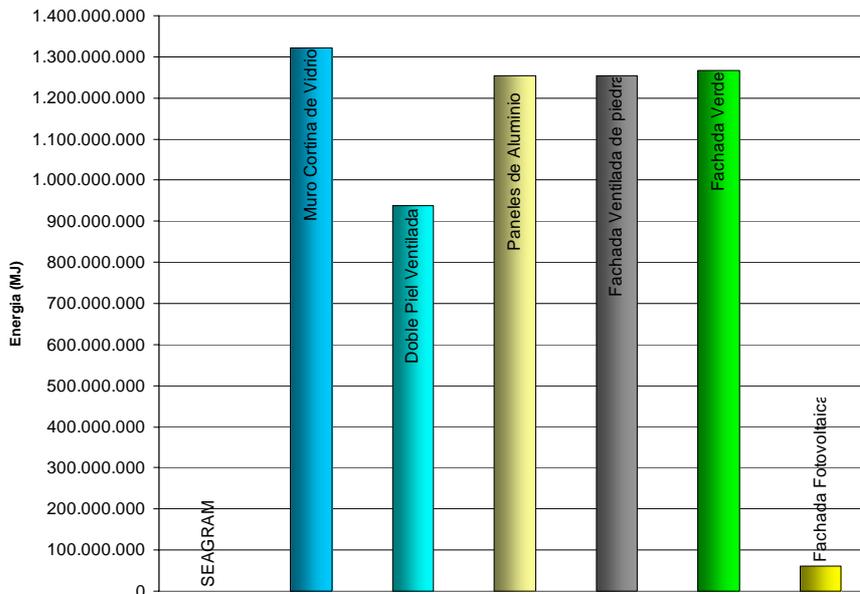


CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 50 AÑOS- BARCELONA

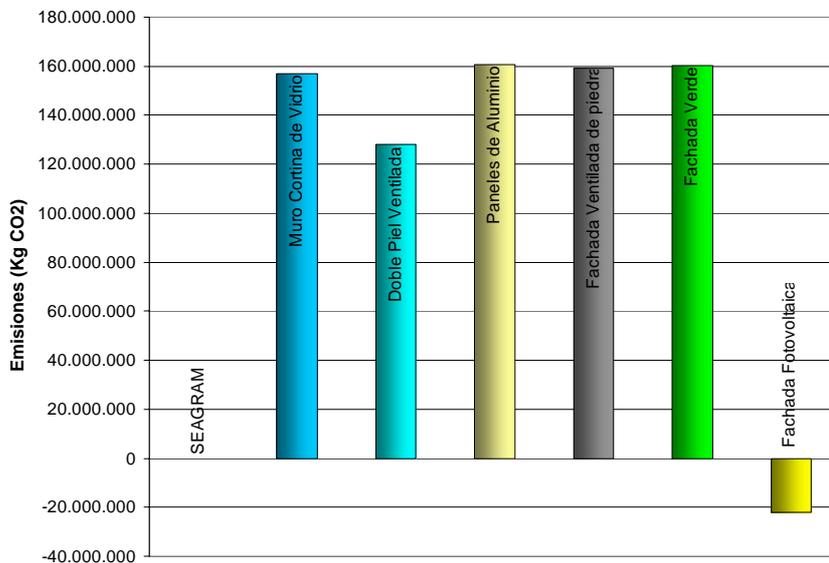


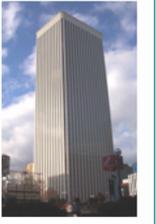
RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS DEL MODELO SEAGRAM - 50 AÑOS - MADRID							
ACV	MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
	SEAGRAM						
		1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
PRODUCCION	Energía (MJ.)	228.124.309,21	232.216.040,98	217.700.727,06	222.152.995,85	222.416.331,86	225.743.146,85
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.430.907,85	21.686.313,21	22.996.499,36	20.940.350,00	21.557.548,01	21.468.107,95
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.751.521,75	10.794.309,33	10.663.292,63	10.897.406,39	10.781.825,37	10.821.542,81
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	856.896,28	860.306,45	849.864,42	868.523,29	859.311,48	862.476,96
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.100.671,10	20.180.665,27	19.935.721,00	20.373.411,96	20.157.325,69	20.231.580,03
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.406.050,33	2.415.625,63	2.386.305,80	2.438.697,41	2.412.831,89	2.421.720,13
USO (50 AÑOS)	Energía (MJ.)	1.036.965.888,00	648.103.680,00	985.255.488,00	981.118.656,00	981.118.656,00	-231.633.629,00
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	129.499.312,50	100.560.449,00	132.236.611,92	132.556.163,04	131.542.740,50	-50.569.264,50
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	16.982.035,45	16.993.495,33	10.185.677,22	10.185.677,22	23.761.871,65	26.410.733,67
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.039.106,62	1.040.787,40	765.521,09	765.521,09	2.242.040,32	1.990.853,79
DEMOLICIÓN	Energía (MJ.)	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57
TOTAL	Energía (MJ.)	1.322.508.603,89	937.872.369,27	1.253.325.084,27	1.254.312.325,78	1.267.820.188,95	61.157.552,72
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	156.808.764,16	128.139.972,27	160.811.293,16	159.145.745,40	160.190.962,77	-22.249.615,09

CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 50 AÑOS- MADRID

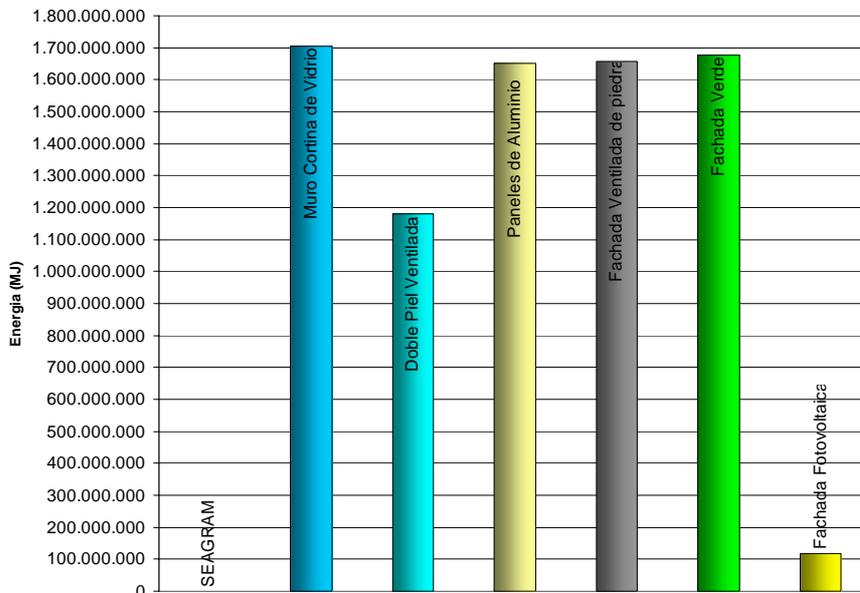


CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 50 AÑOS- MADRID

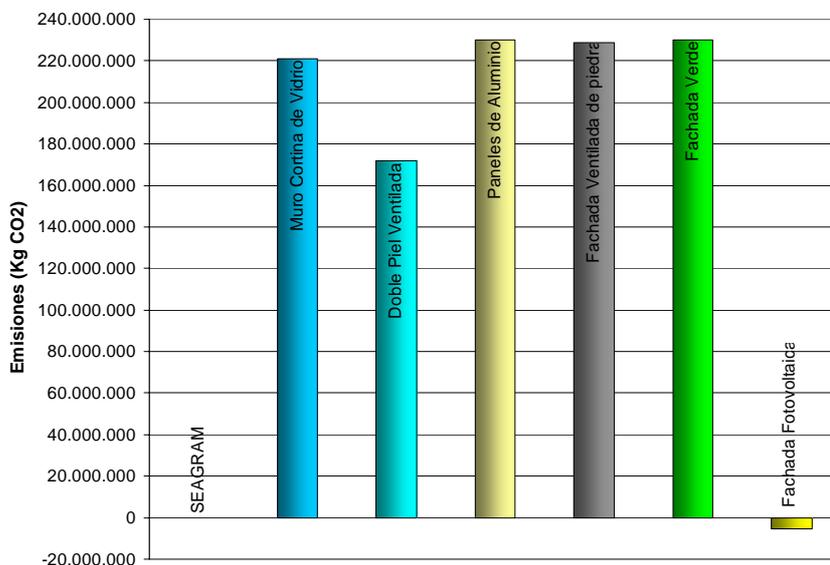


RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS DEL MODELO SEAGRAM - 75 AÑOS - BARCELONA							
ACV	MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
	SEAGRAM						
		1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
PRODUCCION	Energía (MJ.)	228.124.309,21	232.216.040,98	217.700.727,06	222.152.995,85	222.416.331,86	225.743.146,85
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.430.907,85	21.686.313,21	22.996.499,36	20.940.350,00	21.557.548,01	21.468.107,95
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.751.521,75	10.794.309,33	10.663.292,63	10.897.406,39	10.781.825,37	10.821.542,81
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	856.896,28	860.306,45	849.864,42	868.523,29	859.311,48	862.476,96
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.100.671,10	20.180.665,27	19.935.721,00	20.373.411,96	20.157.325,69	20.231.580,03
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.406.050,33	2.415.625,63	2.386.305,80	2.438.697,41	2.412.831,89	2.421.720,13
USO (75 AÑOS)	Energía (MJ.)	1.410.659.712,00	881.662.320,00	1.379.633.472,00	1.377.565.056,00	1.377.565.056,00	-189.277.561,50
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	193.331.109,00	143.922.970,50	201.288.764,88	201.938.592,24	200.418.458,25	-34.654.499,25
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	25.473.053,18	25.490.243,00	15.278.515,83	15.278.515,83	35.642.807,48	39.616.100,51
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.558.659,93	1.561.181,11	1.148.281,63	1.148.281,63	3.363.060,48	2.986.280,69
DEMOLICIÓN	Energía (MJ.)	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57
TOTAL	Energía (MJ.)	1.704.693.445,62	1.179.927.756,94	1.652.795.906,88	1.655.851.564,39	1.676.147.524,77	116.718.987,06
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	221.160.113,97	172.022.887,47	230.246.206,66	228.910.935,15	230.187.700,69	-5.339.422,95

CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 75 AÑOS- BARCELONA

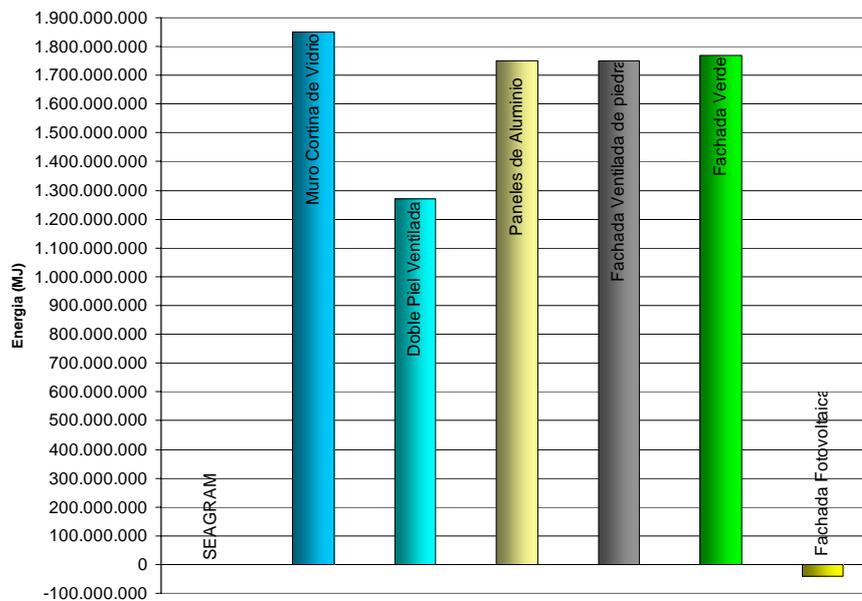


CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 75 AÑOS- BARCELONA

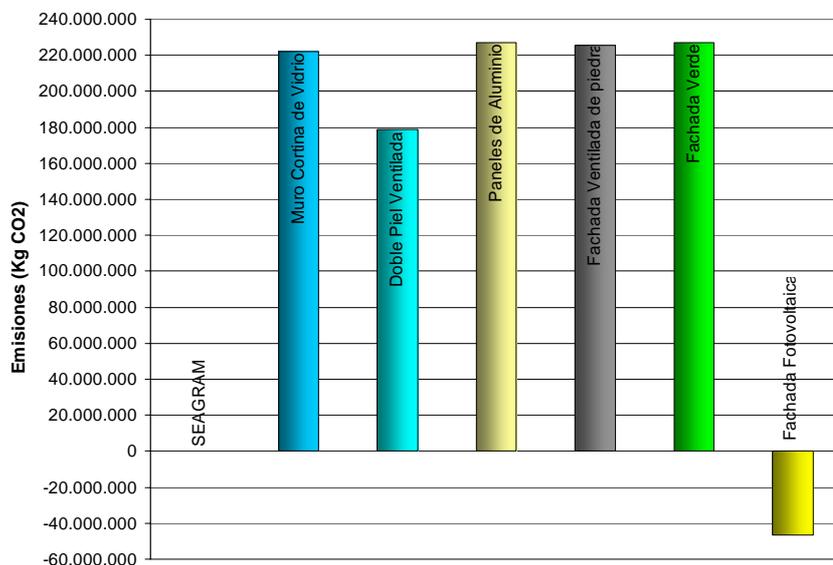


RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS DEL MODELO SEAGRAM - 75 AÑOS - MADRID							
ACV	MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
	SEAGRAM						
		1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
PRODUCCION	Energia (M.J.)	228.124.309,21	232.216.040,98	217.700.727,06	222.152.995,85	222.416.331,86	225.743.146,85
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.430.907,85	21.686.313,21	22.996.499,36	20.940.350,00	21.557.548,01	21.468.107,95
TRANSPORTE	Energia (M.J.)	10.751.521,75	10.794.309,33	10.663.292,63	10.897.406,39	10.781.825,37	10.821.542,81
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	856.896,28	860.306,45	849.864,42	868.523,29	859.311,48	862.476,96
CONSTRUCCIÓN	Energia (M.J.)	20.100.671,10	20.180.665,27	19.935.721,00	20.373.411,96	20.157.325,69	20.231.580,03
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.406.050,33	2.415.625,63	2.386.305,80	2.438.697,41	2.412.831,89	2.421.720,13
USO (75 AÑOS)	Energia (M.J.)	1.555.448.832,00	972.155.520,00	1.477.883.232,00	1.471.677.984,00	1.471.677.984,00	-347.450.443,50
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	194.248.968,75	150.840.673,50	198.354.917,88	198.834.244,56	197.314.110,75	-75.853.896,75
MANTENIMIENTO	Energia (M.J.)	25.473.053,18	25.490.243,00	15.278.515,83	15.278.515,83	35.642.807,48	39.616.100,51
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.558.659,93	1.561.181,11	1.148.281,63	1.148.281,63	3.363.060,48	2.986.280,69
DEMOLICIÓN	Energia (M.J.)	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57
TOTAL	Energia (M.J.)	1.849.482.565,62	1.270.420.956,94	1.751.045.666,88	1.749.964.492,39	1.770.260.452,77	-41.453.894,94
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	222.077.973,72	178.940.590,47	227.312.359,66	225.806.587,47	227.083.353,19	-46.538.820,45

CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 75 AÑOS- MADRID

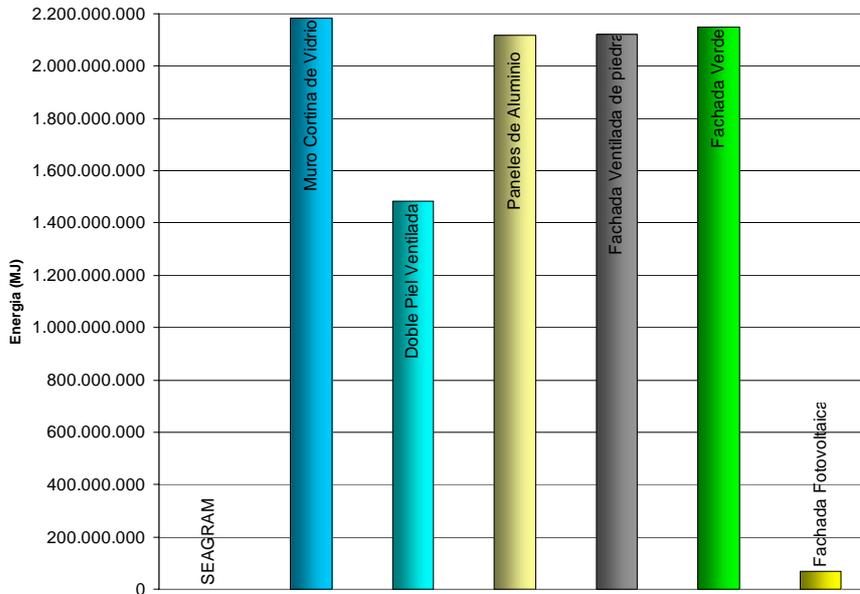


CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 75 AÑOS- MADRID

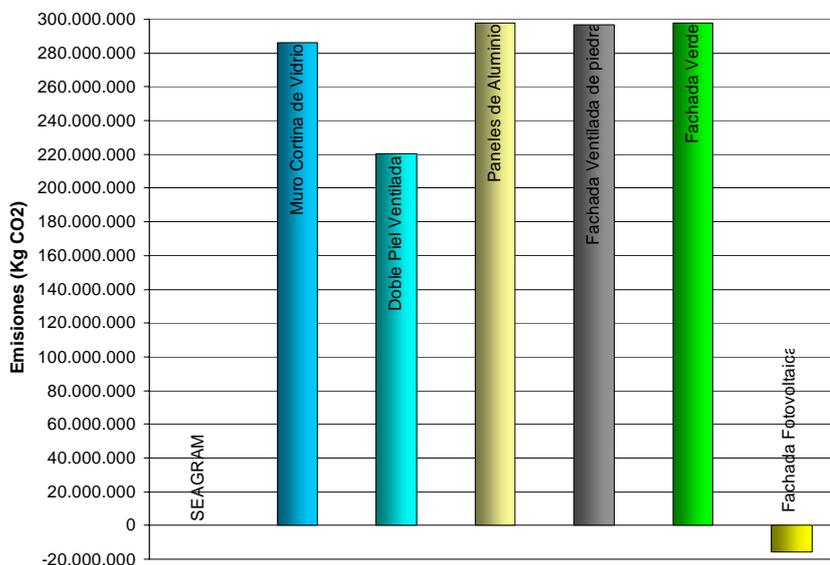


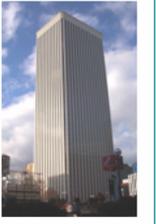
RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS DEL MODELO SEAGRAM - 100 AÑOS - BARCELONA							
ACV	MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
	SEAGRAM						
		1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
PRODUCCION	Energia (M.J.)	228.124.309,21	232.216.040,98	217.700.727,06	222.152.995,85	222.416.331,86	225.743.146,85
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.430.907,85	21.686.313,21	22.996.499,36	20.940.350,00	21.557.548,01	21.468.107,95
TRANSPORTE	Energia (M.J.)	10.751.521,75	10.794.309,33	10.663.292,63	10.897.406,39	10.781.825,37	10.821.542,81
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	856.896,28	860.306,45	849.864,42	868.523,29	859.311,48	862.476,96
CONSTRUCCIÓN	Energia (M.J.)	20.100.671,10	20.180.665,27	19.935.721,00	20.373.411,96	20.157.325,69	20.231.580,03
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.406.050,33	2.415.625,63	2.386.305,80	2.438.697,41	2.412.831,89	2.421.720,13
USO (100 AÑOS)	Energia (M.J.)	1.880.879.616,00	1.175.549.760,00	1.839.511.296,00	1.836.753.408,00	1.836.753.408,00	-252.370.082,00
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	257.774.812,00	191.897.294,00	268.385.019,84	269.251.456,32	267.224.611,00	-46.205.999,00
MANTENIMIENTO	Energia (M.J.)	33.964.070,91	33.986.990,67	20.371.354,44	20.371.354,44	47.523.743,31	52.821.467,34
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.078.213,24	2.081.574,81	1.531.042,17	1.531.042,17	4.484.080,64	3.981.707,58
DEMOLICIÓN	Energia (M.J.)	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57
TOTAL	Energia (M.J.)	2.183.404.367,35	1.482.311.944,60	2.117.766.569,49	2.120.132.755,00	2.147.216.812,60	66.831.833,39
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	286.123.370,28	220.517.604,67	297.725.222,17	296.606.559,77	298.114.873,60	-15.895.495,80

CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 100 AÑOS- BARCELONA

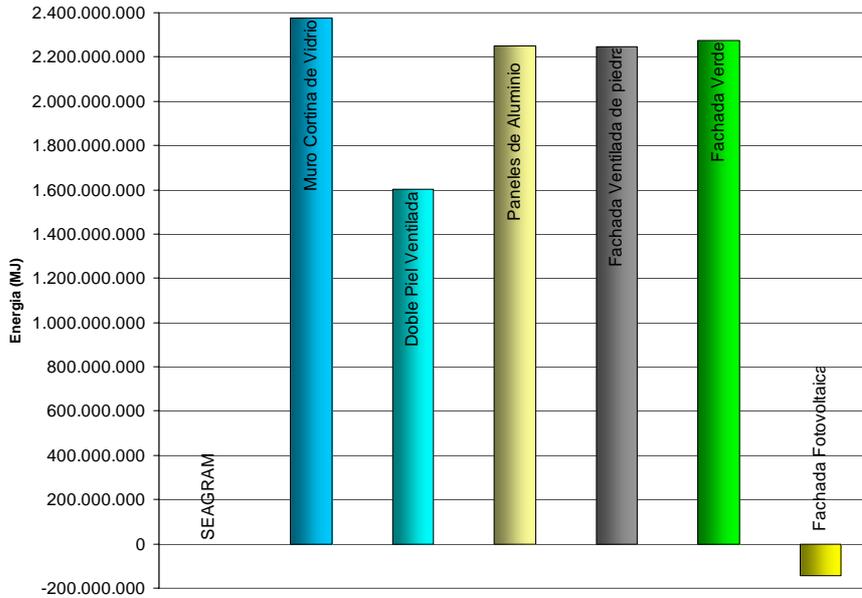


CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 100 AÑOS- BARCELONA

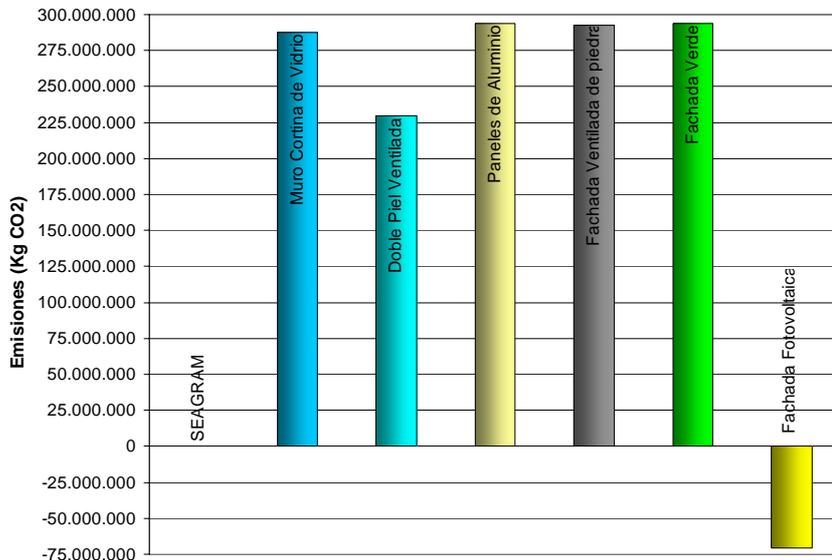


RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS DEL MODELO SEAGRAM - 100 AÑOS - MADRID							
ACV	MODELO	TIPOS DE FACHADAS					
	SEAGRAM						
		1. Muro cortina vidrio	2. Doble piel ventilada	3. Paneles Aluminio	4. Fachada Ventilada	5. Fachada Verde	6. F. Fotovoltaica
PRODUCCION	Energía (MJ.)	228.124.309,21	232.216.040,98	217.700.727,06	222.152.995,85	222.416.331,86	225.743.146,85
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.430.907,85	21.686.313,21	22.996.499,36	20.940.350,00	21.557.548,01	21.468.107,95
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.751.521,75	10.794.309,33	10.663.292,63	10.897.406,39	10.781.825,37	10.821.542,81
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	856.896,28	860.306,45	849.864,42	868.523,29	859.311,48	862.476,96
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.100.671,10	20.180.665,27	19.935.721,00	20.373.411,96	20.157.325,69	20.231.580,03
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.406.050,33	2.415.625,63	2.386.305,80	2.438.697,41	2.412.831,89	2.421.720,13
USO (100 AÑOS)	Energía (MJ.)	2.073.931.776,00	1.296.207.360,00	1.970.510.976,00	1.962.237.312,00	1.962.237.312,00	-463.267.258,00
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	258.998.625,00	201.120.898,00	264.473.223,84	265.112.326,08	263.085.481,00	-101.138.529,00
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	33.964.070,91	33.986.990,67	20.371.354,44	20.371.354,44	47.523.743,31	52.821.467,34
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.078.213,24	2.081.574,81	1.531.042,17	1.531.042,17	4.484.080,64	3.981.707,58
DEMOLICIÓN	Energía (MJ.)	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36	9.584.178,36
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57	1.576.490,57
TOTAL	Energía (MJ.)	2.376.456.527,35	1.602.969.544,60	2.248.766.249,49	2.245.616.659,00	2.272.700.716,60	-144.065.342,61
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	287.347.183,28	229.741.208,67	293.813.426,17	292.467.429,53	293.975.743,60	-70.828.025,80

CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 100 AÑOS- MADRID



CUADRO RESUMEN TOTAL EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS 6 FACHADAS - 100 AÑOS- MADRID



CONCLUSIONES FINALES:

1. Durante todo el ciclo de vida del edificio, el rascacielos con la solución de fachada trasventilada fotovoltaica es el que tiene un impacto ambiental menor. Esto se debe a dos factores: por un lado, el hecho de tratarse de una solución tipo fachada ventilada lleva asociada toda una serie de prestaciones (buen aislamiento térmico, ventilación de la cámara, etc.) que se traducen en una mejoría del rendimiento energético del edificio; y por otro lado, el aprovechamiento que se hace del cerramiento que más superficie tiene en este tipo de edificios (fachada) para la captación de energía a través de las placas fotovoltaicas instaladas en las orientaciones sur, este y oeste. En el caso de Madrid, debido al alto índice de radiación solar global (un 20% superior al de Barcelona) es capaz incluso de aportar más energía al cabo de 75 años que la que se ha empleado para su construcción y funcionamiento. En el caso de Barcelona, al cabo de 100 años no se llega a equilibrar la energía empleada durante toda su vida útil con la que aporta el edificio. Para ello, se necesitarían 133,5 años.

2. La fachada de doble piel de vidrio con cámara ventilada se presenta como la mejor alternativa a la mencionada anteriormente. En realidad es la fachada pasiva más sostenible de las estudiadas (No hay que olvidar que la fachada trasventilada fotovoltaica no deja de ser una solución activa). Pese al alto coste energético derivado de su construcción, desde los 25 años de funcionamiento en adelante es la solución pasiva que menos impacto ambiental produce. Esto se debe a los beneficios energéticos que se derivan de ese espacio colchón ventilado que se crea entre ambas hojas. No es de extrañar que esta solución se extienda cada vez más en la edificación en altura.

3. Durante todo el ciclo de vida del edificio, el rascacielos con la solución de muro cortina de vidrio es el que tiene un impacto medioambiental energético mayor. Esto se debe, por un lado, al alto coste derivado de su construcción y, por otro lado, a la gran cantidad de energía que hay que emplear para mantener el confort durante su vida útil debida al menor aislamiento térmico y mayor exposición de esta solución respecto al resto. Sin embargo, el rascacielos con muro cortina de vidrio no es el que produce el mayor impacto en emisiones de CO₂. Hasta los primeros 75 años de vida, la solución con más emisiones de CO₂ asociadas es la fachada con paneles sándwich de aluminio. A partir de los 100, esa posición la ocupa la fachada verde. La explicación la encontramos en que la solución de muro cortina necesita durante todo el año (especialmente en primavera y otoño) ligeramente más calefacción (produce pocas emisiones de CO₂) y menos refrigeración (produce más emisiones de CO₂)

que otro tipo de fachadas como las trasventiladas o de panel sándwich de aluminio, en las que se da la situación inversa, debido a su mayor aislamiento térmico.

4. La fachada trasventilada verde, a pesar de ser una solución atractiva, secuestra un valor muy poco significativo de CO₂. Es capaz de fijar apenas 20.268 Kg de CO₂ al año, lo que equivale a una reducción de las emisiones de CO₂ durante un año en la fase de uso del edificio de apenas un 0,75% respecto a la fachada trasventilada de piedra.

Esta poca capacidad de absorción de CO₂ se debe al pequeño porte de las plantas que se pueden colgar en una fachada de estas características. Si quisiéramos aumentar este índice de secuestro de CO₂/m² año, deberíamos ir a plantas de mayor porte, pero aumentaríamos excesivamente el peso de las fachadas, lo que iría en contra del concepto de ligereza que, como hemos visto anteriormente, va completamente unido al de sostenibilidad.

El alto impacto ambiental derivado de su mantenimiento hace que desde los primeros 100 años en adelante, sea la solución menos sostenible en lo que a emisiones de CO₂ se refiere.

En consecuencia, parece razonable que su aplicación en la edificación en altura se limite como mucho a las partes bajas del edificio (1/3 tercio de altura), en la que se puede apreciar mejor la vegetación desde la ciudad, donde es más fácil de ejecutar el mantenimiento de este tipo de acabados y está menos expuesto al viento y otros agentes atmosféricos que la pueden dañar.

Conviene resaltar que aunque la fachada trasventilada verde haya obtenido unos resultados de consumo energético iguales que los de una trasventilada de piedra, éstos deberían ser inferiores. La experiencia nos demuestra que el efecto adiabático de la evaporación del agua presente en las plantas de la fachada haría mejorar sensiblemente el microclima cercano a las fachadas, con la consiguiente disminución de consumo de energía, especialmente en épocas de calor. Sin embargo esto es un fenómeno difícilmente cuantificable con un programa de ordenador.

5. Respecto a las dos ciudades, excepto la fachada trasventilada fotovoltaica, en todas las soluciones se necesita más energía durante todo el ciclo de vida del edificio en Madrid que en Barcelona. En lo que se refiere a las emisiones, dependiendo del tipo de fachada funcionan mejor en una ciudad o en la otra. La explicación de esta alternancia se da en el hecho de que cada solución y ciudad tienen unas necesidades concretas de climatización (más o menos calefacción y refrigeración) y las diversas fuentes energéticas de

climatización producen diferentes emisiones de CO₂ (la calefacción produce menos emisiones de CO₂ que la refrigeración).

La fachada trasventilada fotovoltaica funciona mejor en Madrid que en Barcelona, ya que el índice de radiación solar global en Madrid es un 20% mayor que el de Barcelona.

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

7.1 INTRODUCCIÓN.

7.2 SÍNTESIS DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL CICLO DE VIDA COMPLETO DEL
RASCACIELOS Y LOS TIPOS EDIFICATORIOS URBANOS MÁS SOSTENIBLES. CONCLUSIONES.

7.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo final se ha elaborado una síntesis de los resultados obtenidos anteriormente en los estudios del impacto ambiental de los rascacielos y los modelos urbanos edificatorios más sostenibles para averiguar el grado de sostenibilidad del edificio en altura. Las tipologías que mejor resultado han obtenido de los estudios de impacto ambiental y energético en su ciclo de vida completo son las siguientes:

- El rascacielos modelo Seagram con estructura de acero. Para esta tipología las dos fachadas que mejor resultado han obtenido son, en primer lugar, la fachada trasventilada fotovoltaica (solución productiva), y, en segundo lugar, la de doble piel de vidrio con cámara (solución pasiva).

- El modelo Unité con estructura de acero y fachada ligera.

- El modelo Ensanche con estructura de acero y fachada ligera.

A pesar de que el modelo Unité ha obtenido mejores resultados que el del Ensanche, y de la mínima diferencia entre ambos (apenas un 0,43%), merece la pena incorporarlos a esta síntesis final por la mayor variabilidad de resultados que de su estudio se obtienen.

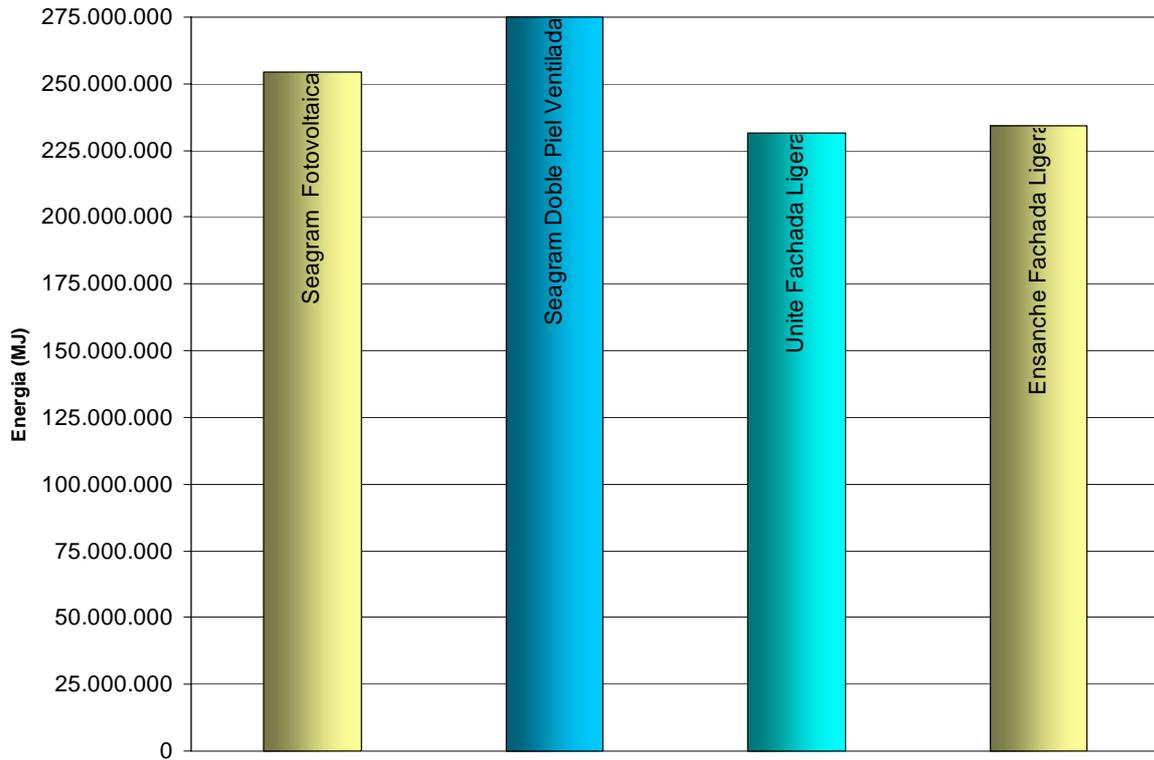
En el caso del rascacielos, la fachada trasventilada fotovoltaica ha obtenido muchos mejores resultados que la de doble piel de vidrio con cámara. A pesar de ello, creemos que enriquece enormemente el estudio el hecho de incorporar la solución de doble piel de vidrio con cámara ventilada, que, dado su carácter de solución pasiva, compite en igualdad de condiciones que el resto de fachadas de las otras tipologías edificatorias, cosa que no ocurre con la fachada trasventilada fotovoltaica, por tratarse de una solución productiva no aplicada en el resto de tipologías edificatorias.

7.2 SÍNTESIS DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL CICLO DE VIDA COMPLETO DEL RASCACIELOS Y LOS TIPOS EDIFICATORIOS URBANOS MÁS SOSTENIBLES.

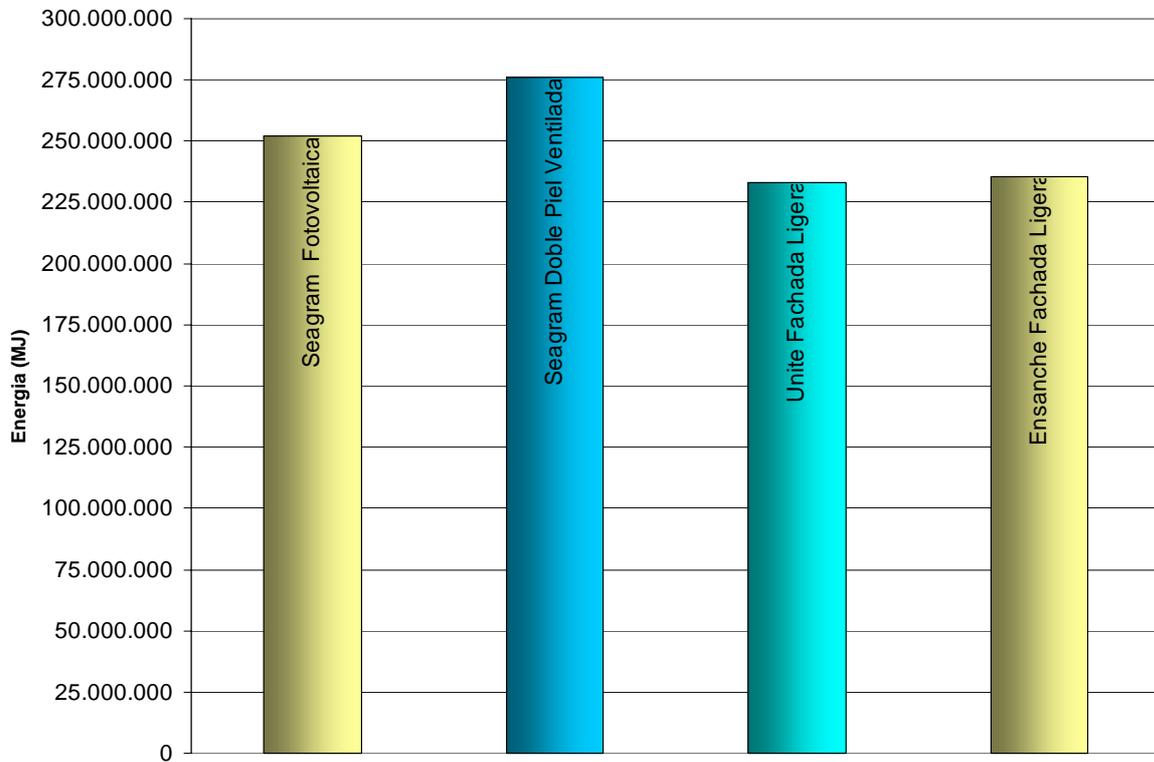
RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 1º AÑO - BARCELONA					
ACV	IMPACTO AMBIENTAL	TIPOS DE FACHADAS			
					
		1. Modelo Seagram F. Fotovoltaica	2. Modelo Seagram Doble piel ventilada	3. Modelo Unité Fachada ligera	4. Modelo Ensanche Fachada ligera
PRODUCCION	Energía (MJ.)	225.743.146,85	232.216.040,98	185.151.441,34	185.418.279,14
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.468.107,95	21.686.313,21	18.831.591,22	19.560.187,73
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.821.542,81	10.794.309,33	10.250.959,17	11.042.440,49
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	862.476,96	860.306,45	817.001,45	880.082,51
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.231.580,03	20.180.665,27	19.164.836,70	20.644.562,66
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.421.720,13	2.415.625,63	2.294.030,95	2.471.154,15
USO (1 AÑO)	Energía (MJ.)	-2.523.700,82	11.755.497,60	17.057.537,28	17.285.063,04
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-462.059,99	1.918.972,94	2.491.294,08	2.551.913,99
TOTAL	Energía (MJ.)	254.272.568,87	274.946.513,17	231.624.774,49	234.390.345,33
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	24.290.245,05	26.881.218,23	24.433.917,70	25.463.338,38

RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 1º AÑO - MADRID					
ACV	IMPACTO AMBIENTAL	TIPOS DE FACHADAS			
					
		1. Modelo Seagram F. Fotovoltaica	2. Modelo Seagram Doble piel ventilada	3. Modelo Unité Fachada ligera	4. Modelo Ensanche Fachada ligera
PRODUCCION	Energía (MJ.)	225.743.146,85	232.216.040,98	185.151.441,34	185.418.279,14
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.468.107,95	21.686.313,21	18.831.591,22	19.560.187,73
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.821.542,81	10.794.309,33	10.250.959,17	11.042.440,49
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	862.476,96	860.306,45	817.001,45	880.082,51
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.231.580,03	20.180.665,27	19.164.836,70	20.644.562,66
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.421.720,13	2.415.625,63	2.294.030,95	2.471.154,15
USO (1 AÑO)	Energía (MJ.)	-4.632.672,58	12.962.073,60	18.422.691,84	18.415.797,12
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-1.011.385,29	2.011.208,98	2.480.017,38	2.523.944,40
TOTAL	Energía (MJ.)	252.163.597,11	276.153.089,17	232.989.929,05	235.521.079,41
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	23.740.919,75	26.973.454,27	24.422.641,00	25.435.368,79

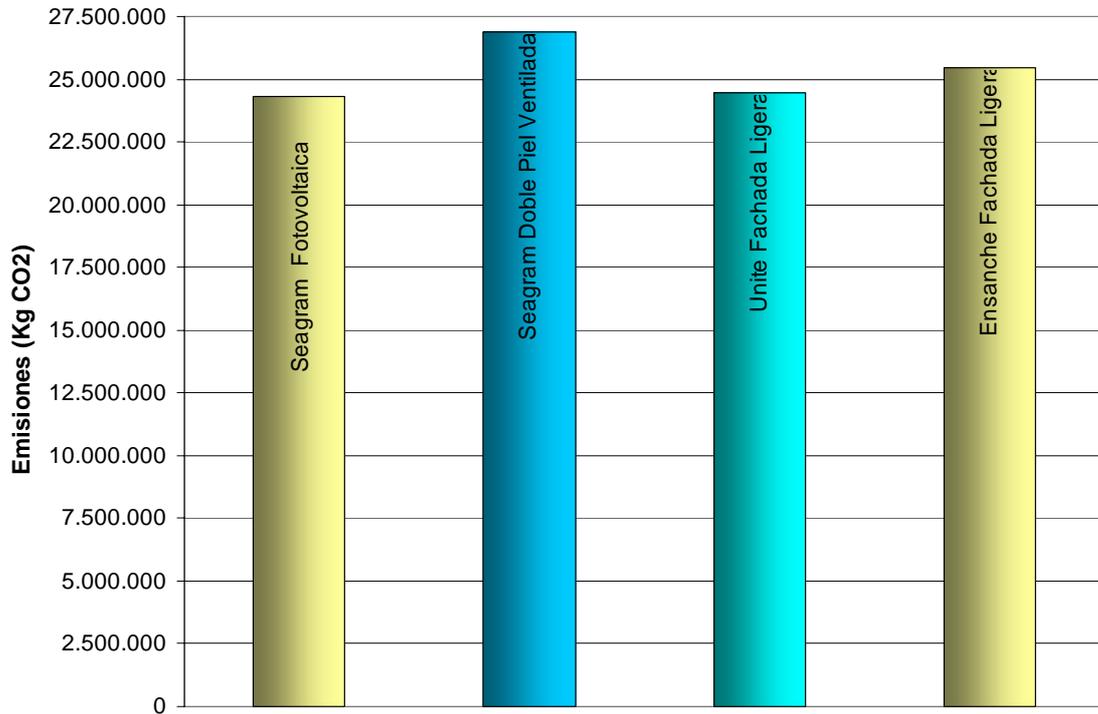
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 1 AÑO- BARCELONA



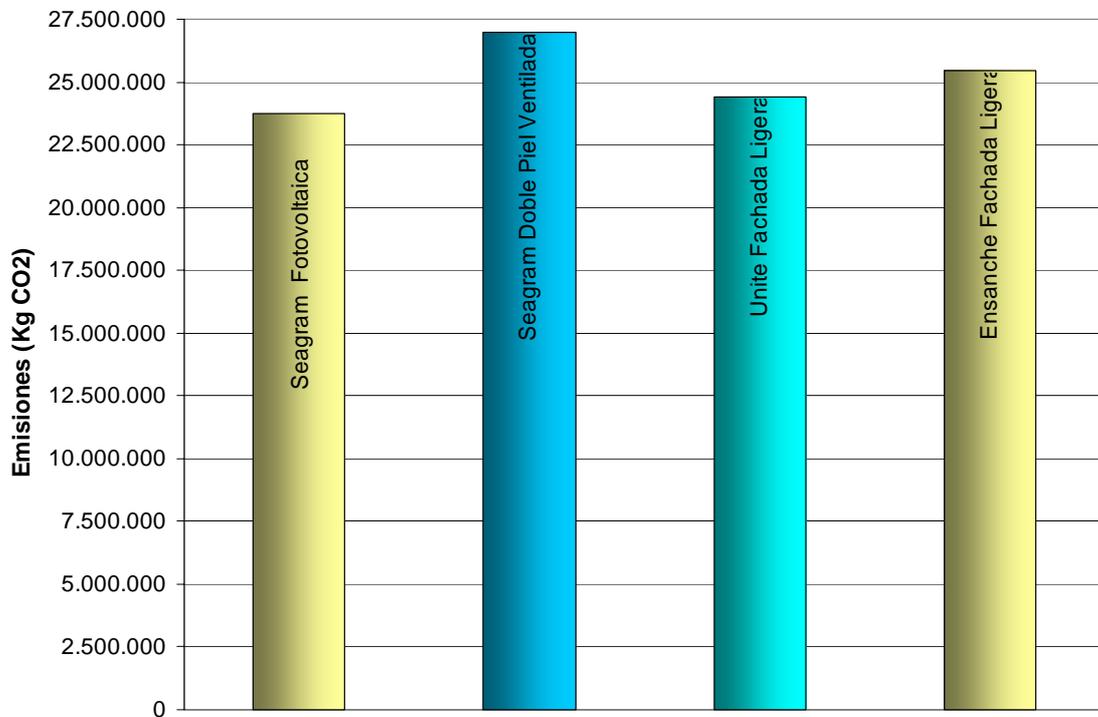
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 1 AÑO- MADRID



CUADRO RESUMEN EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 1 AÑO- BARCELONA



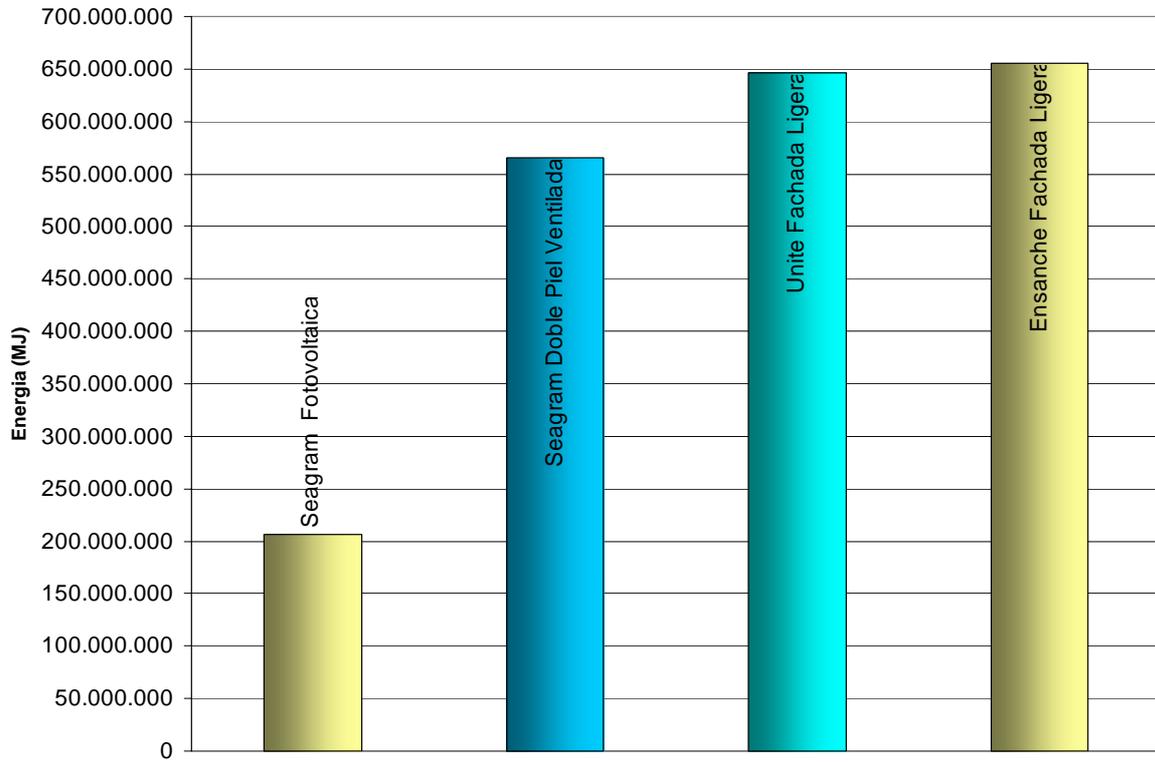
CUADRO RESUMEN EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 1 AÑO- MADRID



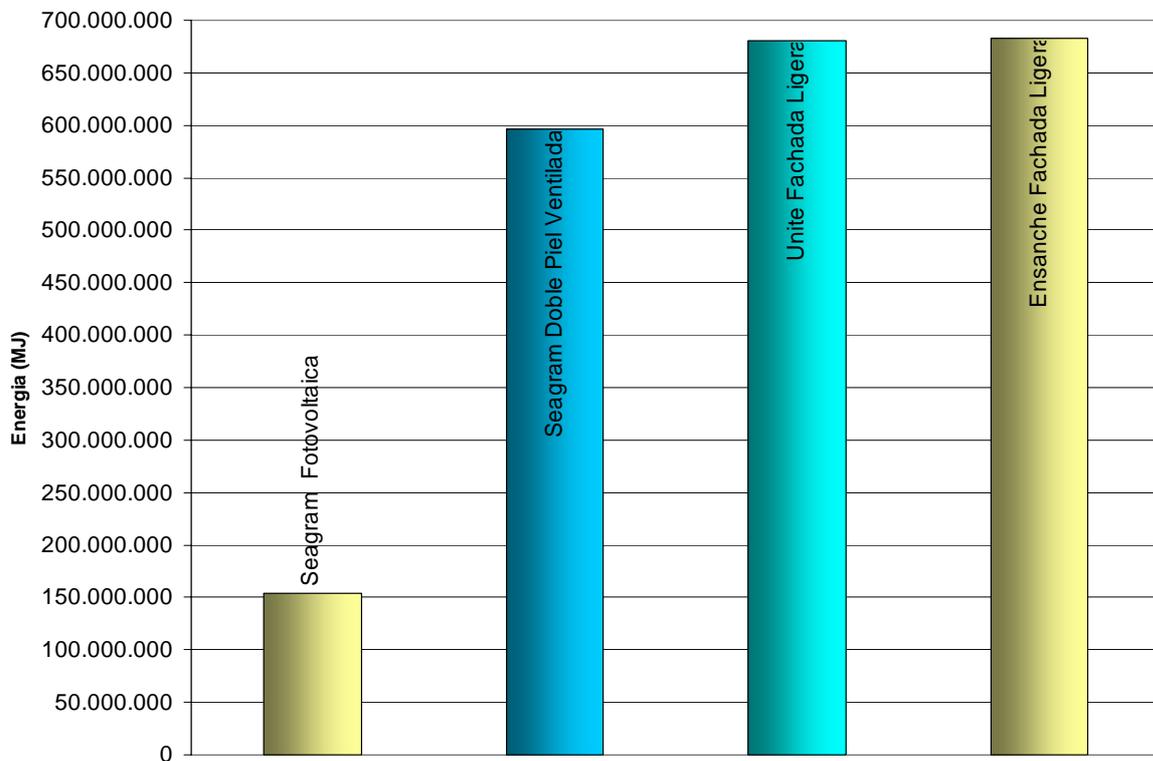
RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 25 AÑOS - BARCELONA					
ACV	IMPACTO AMBIENTAL	TIPOS DE FACHADAS			
					
		1. Modelo Seagram F. Fotovoltaica	2. Modelo Seagram Doble piel ventilada	3. Modelo Unité Fachada ligera	4. Modelo Ensanche Fachada ligera
PRODUCCION	Energía (MJ.)	225.743.146,85	232.216.040,98	185.151.441,34	185.418.279,14
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.468.107,95	21.686.313,21	18.831.591,22	19.560.187,73
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.821.542,81	10.794.309,33	10.250.959,17	11.042.440,49
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	862.476,96	860.306,45	817.001,45	880.082,51
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.231.580,03	20.180.665,27	19.164.836,70	20.644.562,66
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.421.720,13	2.415.625,63	2.294.030,95	2.471.154,15
USO (25 AÑOS)	Energía (MJ.)	-63.092.520,50	293.887.440,00	426.438.432,00	432.126.576,00
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-11.551.499,75	47.974.323,50	62.282.352,00	63.797.849,75
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	13.205.366,84	8.496.747,67	5.204.657,82	5.868.491,19
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	995.426,90	520.393,70	436.477,41	618.263,45
TOTAL	Energía (MJ.)	206.909.116,02	565.575.203,24	646.210.327,03	655.100.349,48
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	14.196.232,19	73.456.962,49	84.661.453,03	87.327.537,59

RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 25 AÑOS - MADRID					
ACV	IMPACTO AMBIENTAL	TIPOS DE FACHADAS			
					
		1. Modelo Seagram F. Fotovoltaica	2. Modelo Seagram Doble piel ventilada	3. Modelo Unité Fachada ligera	4. Modelo Ensanche Fachada ligera
PRODUCCION	Energía (MJ.)	225.743.146,85	232.216.040,98	185.151.441,34	185.418.279,14
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.468.107,95	21.686.313,21	18.831.591,22	19.560.187,73
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.821.542,81	10.794.309,33	10.250.959,17	11.042.440,49
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	862.476,96	860.306,45	817.001,45	880.082,51
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.231.580,03	20.180.665,27	19.164.836,70	20.644.562,66
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.421.720,13	2.415.625,63	2.294.030,95	2.471.154,15
USO (25 AÑOS)	Energía (MJ.)	-115.816.814,50	324.051.840,00	460.567.296,00	460.394.928,00
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-25.284.632,25	50.280.224,50	62.000.434,50	63.098.610,00
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	13.205.366,84	8.496.747,67	5.204.657,82	5.868.491,19
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	995.426,90	520.393,70	436.477,41	618.263,45
TOTAL	Energía (MJ.)	154.184.822,02	595.739.603,24	680.339.191,03	683.368.701,48
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	463.099,69	75.762.863,49	84.379.535,53	86.628.297,84

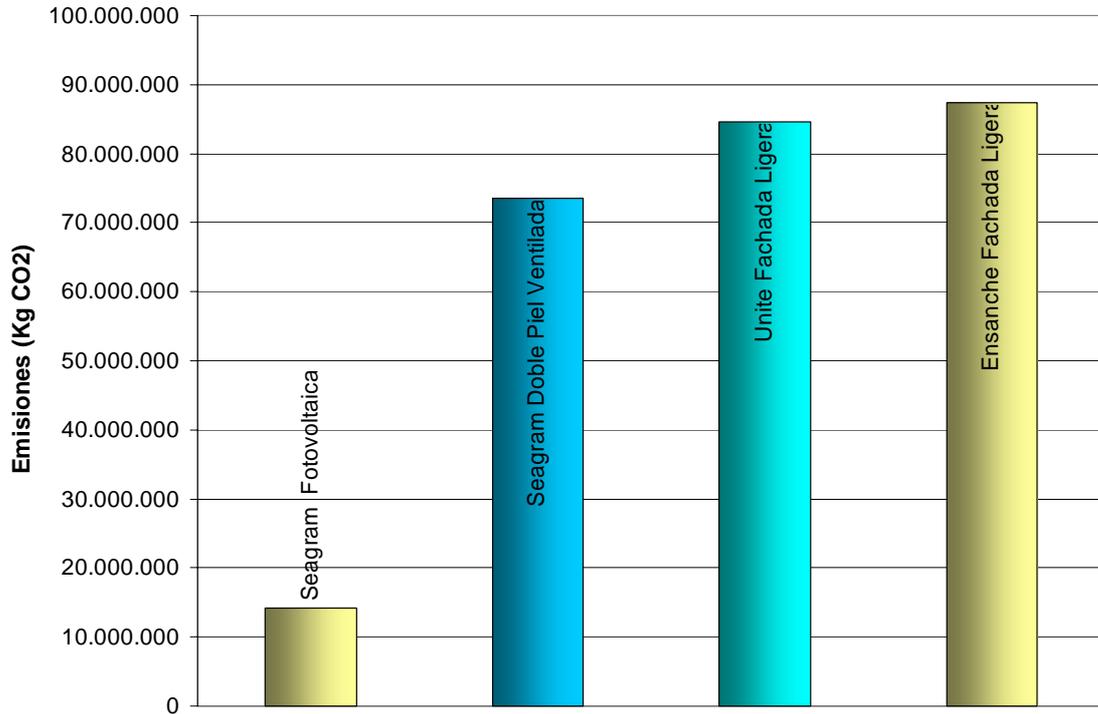
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 25 AÑOS- BARCELONA



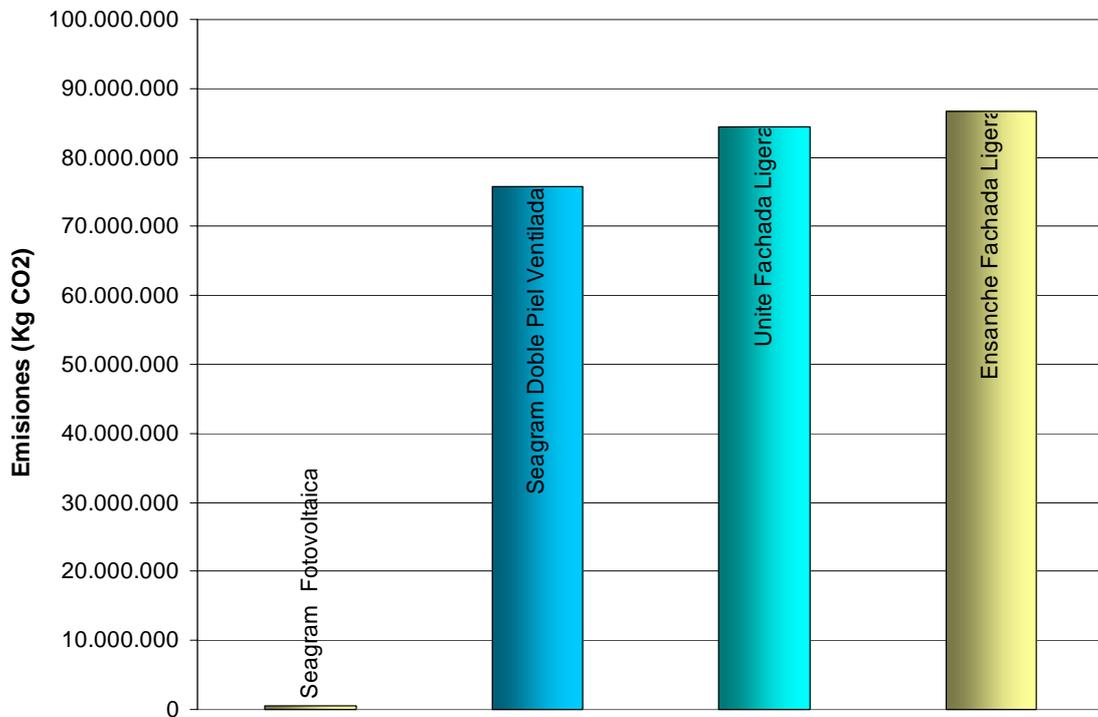
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 25 AÑOS- MADRID



CUADRO RESUMEN EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 25 AÑOS- BARCELONA



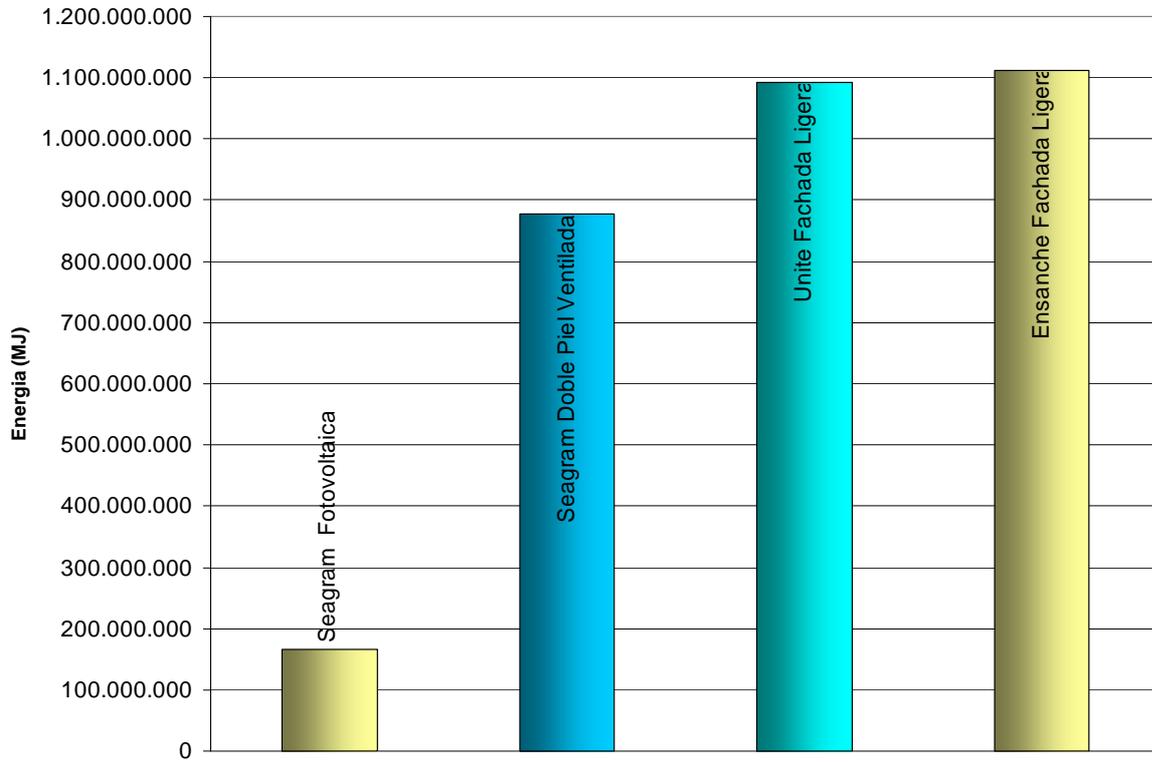
CUADRO RESUMEN EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 25 AÑOS- MADRID



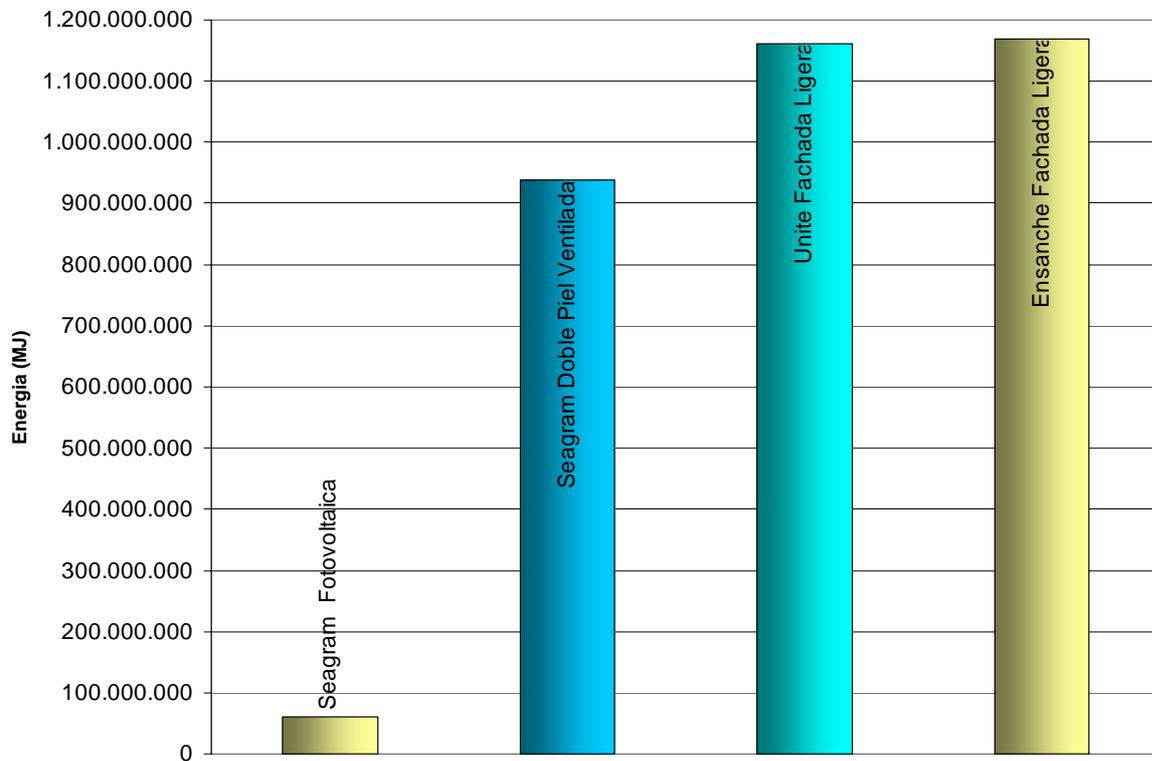
RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 50 AÑOS - BARCELONA					
ACV	IMPACTO AMBIENTAL	TIPOS DE FACHADAS			
					
		1. Modelo Seagram F. Fotovoltaica	2. Modelo Seagram Doble piel ventilada	3. Modelo Unité Fachada ligera	4. Modelo Ensanche Fachada ligera
PRODUCCION	Energía (MJ.)	225.743.146,85	232.216.040,98	185.151.441,34	185.418.279,14
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.468.107,95	21.686.313,21	18.831.591,22	19.560.187,73
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.821.542,81	10.794.309,33	10.250.959,17	11.042.440,49
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	862.476,96	860.306,45	817.001,45	880.082,51
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.231.580,03	20.180.665,27	19.164.836,70	20.644.562,66
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.421.720,13	2.415.625,63	2.294.030,95	2.471.154,15
USO (50 AÑOS)	Energía (MJ.)	-126.185.041,00	587.774.880,00	852.876.864,00	864.253.152,00
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-23.102.999,50	95.948.647,00	124.564.704,00	127.595.699,50
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	26.410.733,67	16.993.495,33	10.409.315,64	11.736.982,38
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.990.853,79	1.040.787,40	872.954,82	1.236.526,90
DEMOLICIÓN	Energía (MJ.)	9.584.178,36	9.584.178,36	13.968.926,16	18.156.597,60
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.576.490,57	1.576.490,57	2.046.040,08	2.496.280,80
TOTAL	Energía (MJ.)	166.606.140,72	877.543.569,27	1.091.822.343,01	1.111.252.014,27
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	5.216.649,91	123.528.170,27	149.426.322,52	154.239.931,59

RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 50 AÑOS - MADRID					
ACV	IMPACTO AMBIENTAL	TIPOS DE FACHADAS			
					
		1. Modelo Seagram F. Fotovoltaica	2. Modelo Seagram Doble piel ventilada	3. Modelo Unité Fachada ligera	4. Modelo Ensanche Fachada ligera
PRODUCCION	Energía (MJ.)	225.743.146,85	232.216.040,98	185.151.441,34	185.418.279,14
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.468.107,95	21.686.313,21	18.831.591,22	19.560.187,73
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.821.542,81	10.794.309,33	10.250.959,17	11.042.440,49
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	862.476,96	860.306,45	817.001,45	880.082,51
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.231.580,03	20.180.665,27	19.164.836,70	20.644.562,66
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.421.720,13	2.415.625,63	2.294.030,95	2.471.154,15
USO (50 AÑOS)	Energía (MJ.)	-231.633.629,00	648.103.680,00	921.134.592,00	920.789.856,00
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-50.569.264,50	100.560.449,00	124.000.869,00	126.197.220,00
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	26.410.733,67	16.993.495,33	10.409.315,64	11.736.982,38
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.990.853,79	1.040.787,40	872.954,82	1.236.526,90
DEMOLICIÓN	Energía (MJ.)	9.584.178,36	9.584.178,36	13.968.926,16	18.156.597,60
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.576.490,57	1.576.490,57	2.046.040,08	2.496.280,80
TOTAL	Energía (MJ.)	61.157.552,72	937.872.369,27	1.160.080.071,01	1.167.788.718,27
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-22.249.615,09	128.139.972,27	148.862.487,52	152.841.452,09

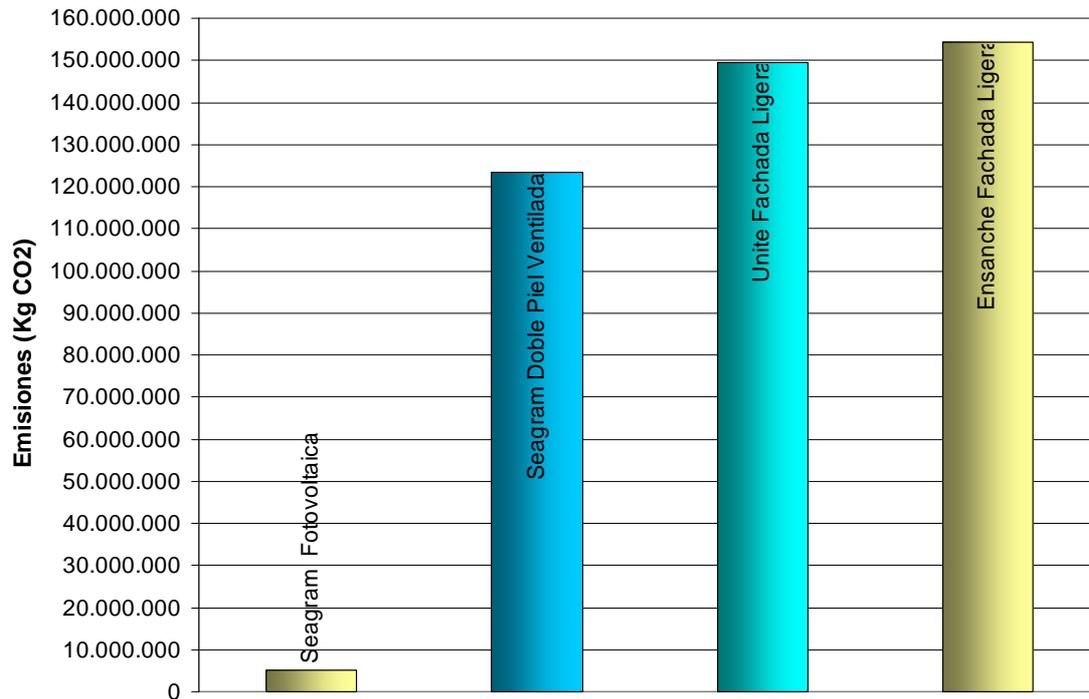
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 50 AÑOS- BARCELONA



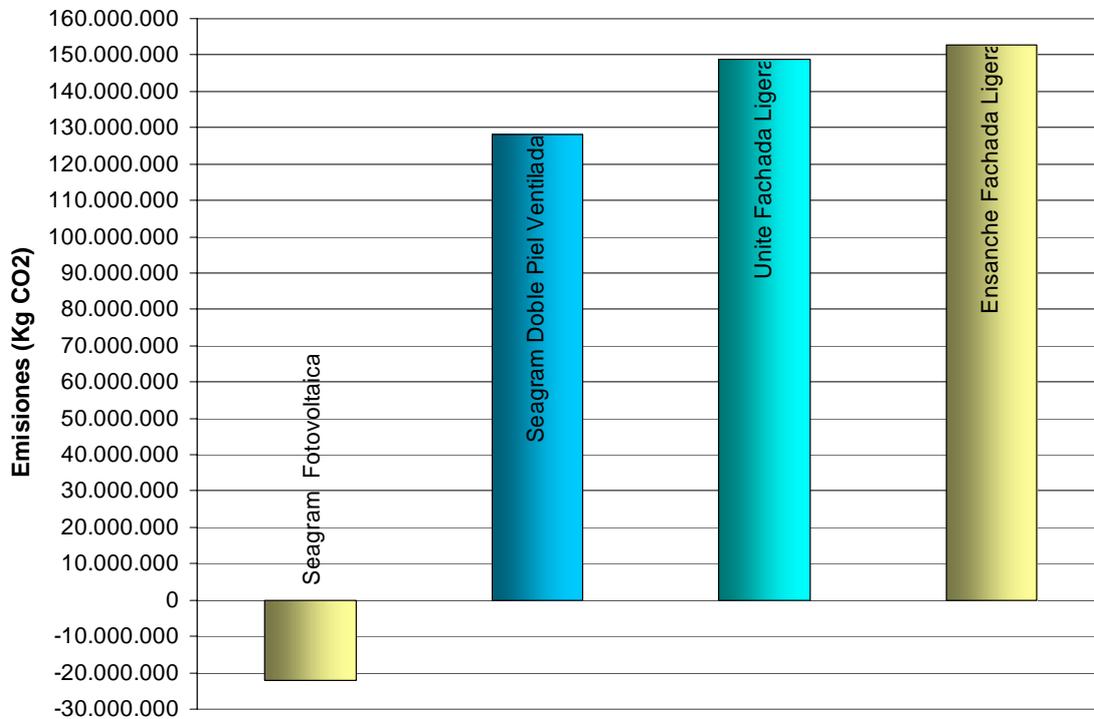
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 50 AÑOS- MADRID



CUADRO RESUMEN EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 50 AÑOS- BARCELONA



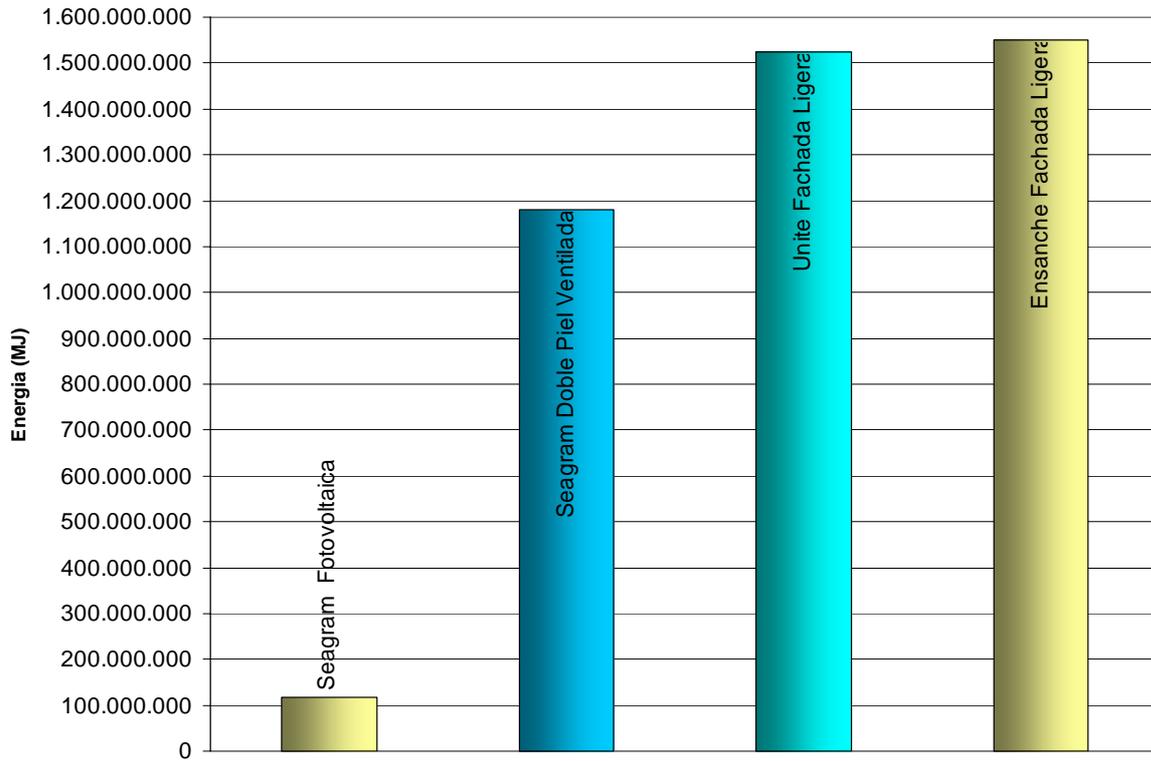
CUADRO RESUMEN EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 50 AÑOS- MADRID



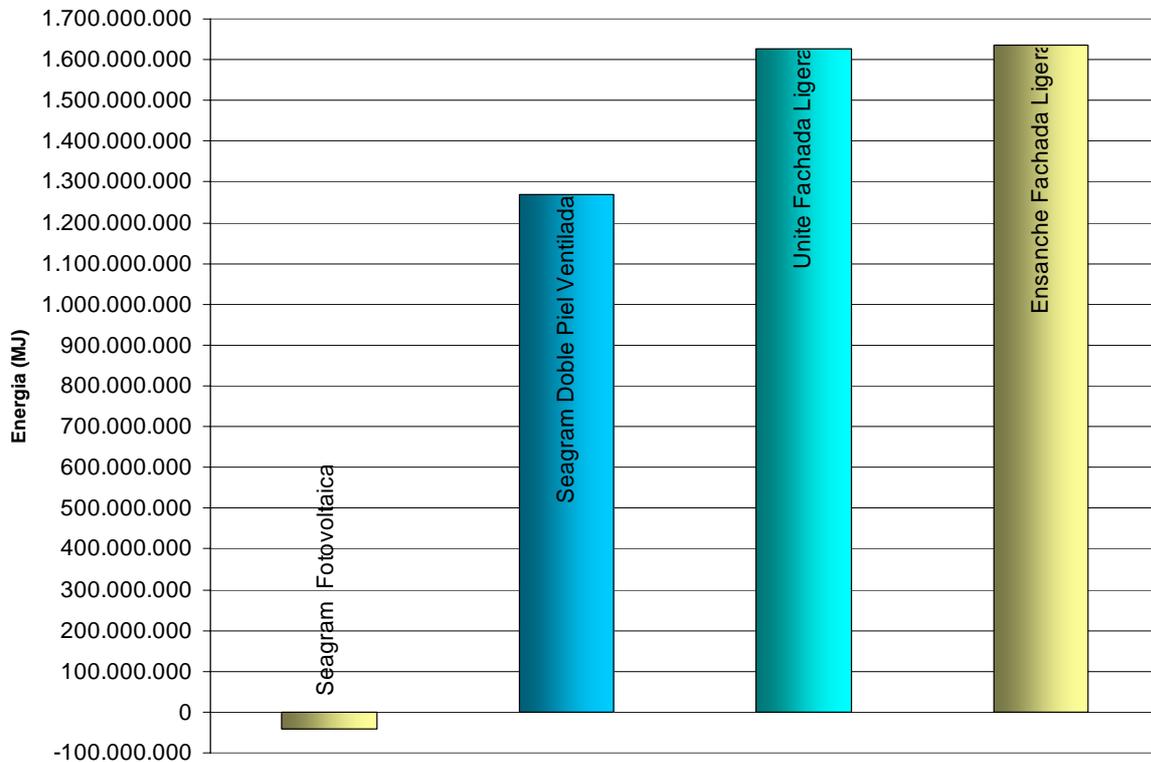
RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 75 AÑOS - BARCELONA					
ACV	IMPACTO AMBIENTAL	TIPOS DE FACHADAS			
					
		1. Modelo Seagram F. Fotovoltaica	2. Modelo Seagram Doble piel ventilada	3. Modelo Unité Fachada ligera	4. Modelo Ensanche Fachada ligera
PRODUCCION	Energía (MJ.)	225.743.146,85	232.216.040,98	185.151.441,34	185.418.279,14
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.468.107,95	21.686.313,21	18.831.591,22	19.560.187,73
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.821.542,81	10.794.309,33	10.250.959,17	11.042.440,49
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	862.476,96	860.306,45	817.001,45	880.082,51
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.231.580,03	20.180.665,27	19.164.836,70	20.644.562,66
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.421.720,13	2.415.625,63	2.294.030,95	2.471.154,15
USO (75 AÑOS)	Energía (MJ.)	-189.277.561,50	881.662.320,00	1.279.315.296,00	1.296.379.728,00
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-34.654.499,25	143.922.970,50	186.847.056,00	191.393.549,25
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	39.616.100,51	25.490.243,00	15.613.973,46	17.605.473,57
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.986.280,69	1.561.181,11	1.309.432,23	1.854.790,35
DEMOLICIÓ	Energía (MJ.)	9.584.178,36	9.584.178,36	13.968.926,16	18.156.597,60
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.576.490,57	1.576.490,57	2.046.040,08	2.496.280,80
TOTAL	Energía (MJ.)	116.718.987,06	1.179.927.756,94	1.523.465.432,83	1.549.247.081,46
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-5.339.422,95	172.022.887,47	212.145.151,93	218.656.044,79

RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 75 AÑOS - MADRID					
ACV	IMPACTO AMBIENTAL	TIPOS DE FACHADAS			
					
		1. Modelo Seagram F. Fotovoltaica	2. Modelo Seagram Doble piel ventilada	3. Modelo Unité Fachada ligera	4. Modelo Ensanche Fachada ligera
PRODUCCION	Energía (MJ.)	225.743.146,85	232.216.040,98	185.151.441,34	185.418.279,14
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.468.107,95	21.686.313,21	18.831.591,22	19.560.187,73
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.821.542,81	10.794.309,33	10.250.959,17	11.042.440,49
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	862.476,96	860.306,45	817.001,45	880.082,51
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.231.580,03	20.180.665,27	19.164.836,70	20.644.562,66
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.421.720,13	2.415.625,63	2.294.030,95	2.471.154,15
USO (75 AÑOS)	Energía (MJ.)	-347.450.443,50	972.155.520,00	1.381.701.888,00	1.381.184.784,00
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-75.853.896,75	150.840.673,50	186.001.303,50	189.295.830,00
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	39.616.100,51	25.490.243,00	15.613.973,46	17.605.473,57
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.986.280,69	1.561.181,11	1.309.432,23	1.854.790,35
DEMOLICIÓ	Energía (MJ.)	9.584.178,36	9.584.178,36	13.968.926,16	18.156.597,60
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.576.490,57	1.576.490,57	2.046.040,08	2.496.280,80
TOTAL	Energía (MJ.)	-41.453.894,94	1.270.420.956,94	1.625.852.024,83	1.634.052.137,46
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-46.538.820,45	178.940.590,47	211.299.399,43	216.558.325,54

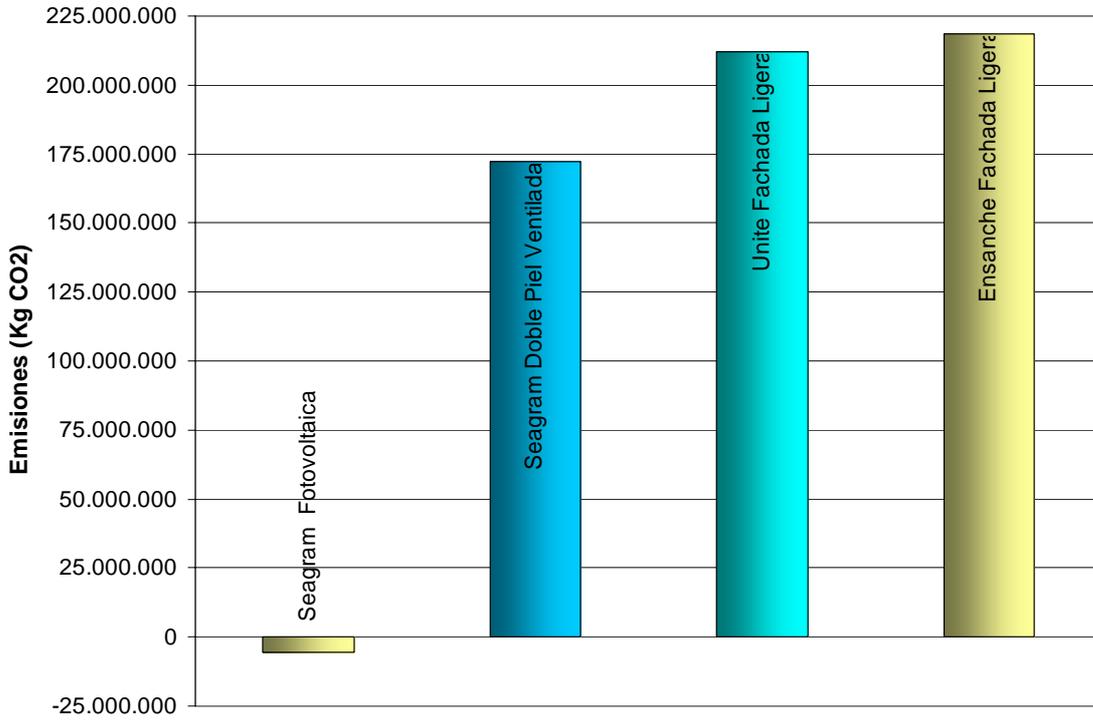
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 75 AÑOS- BARCELONA



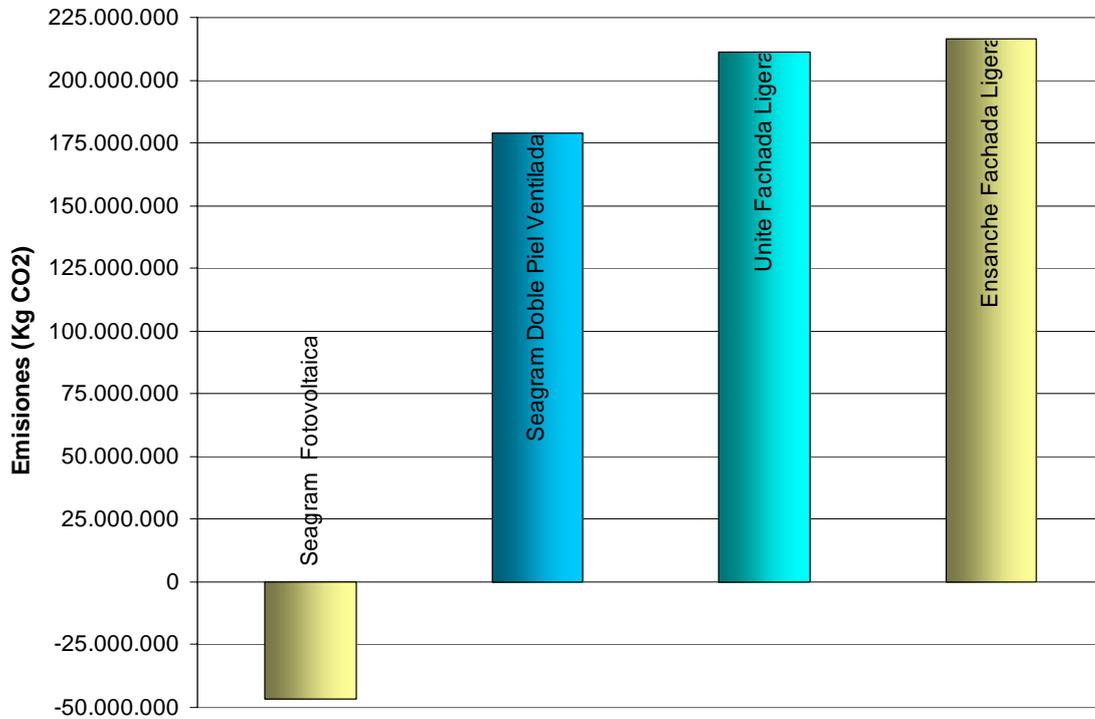
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 75 AÑOS- MADRID



CUADRO RESUMEN EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 75 AÑOS- BARCELONA



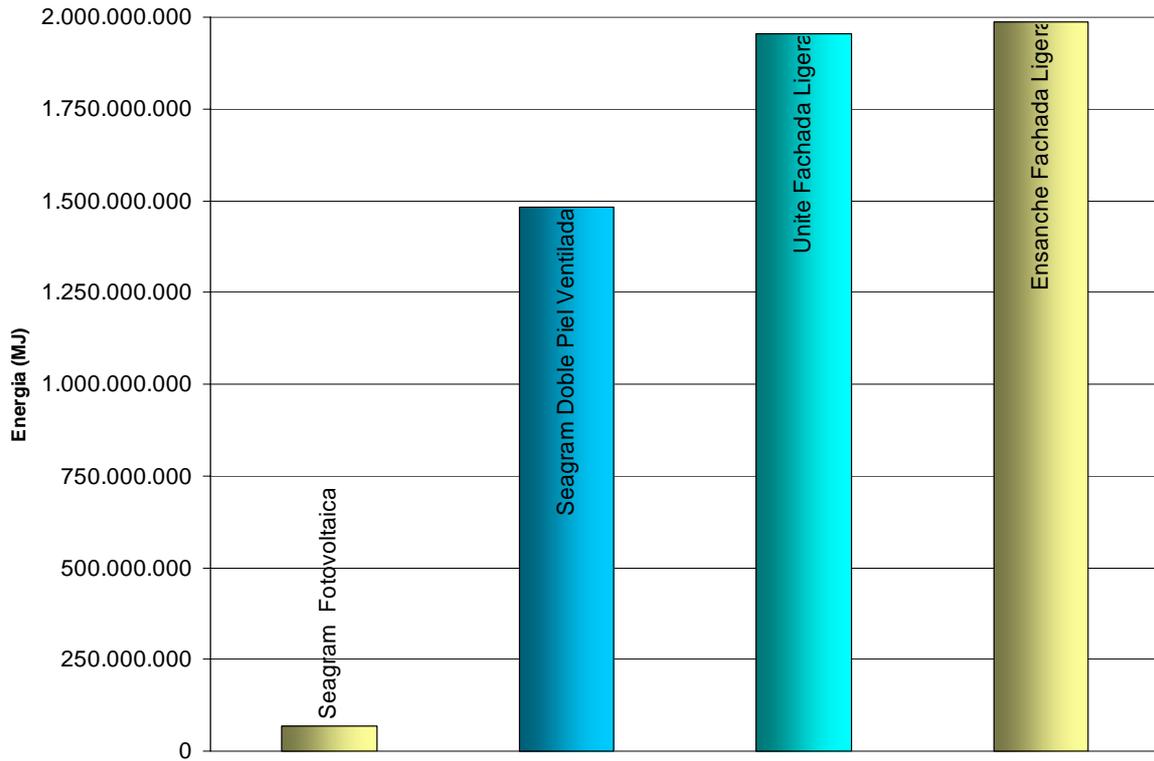
CUADRO RESUMEN EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 75 AÑOS- MADRID



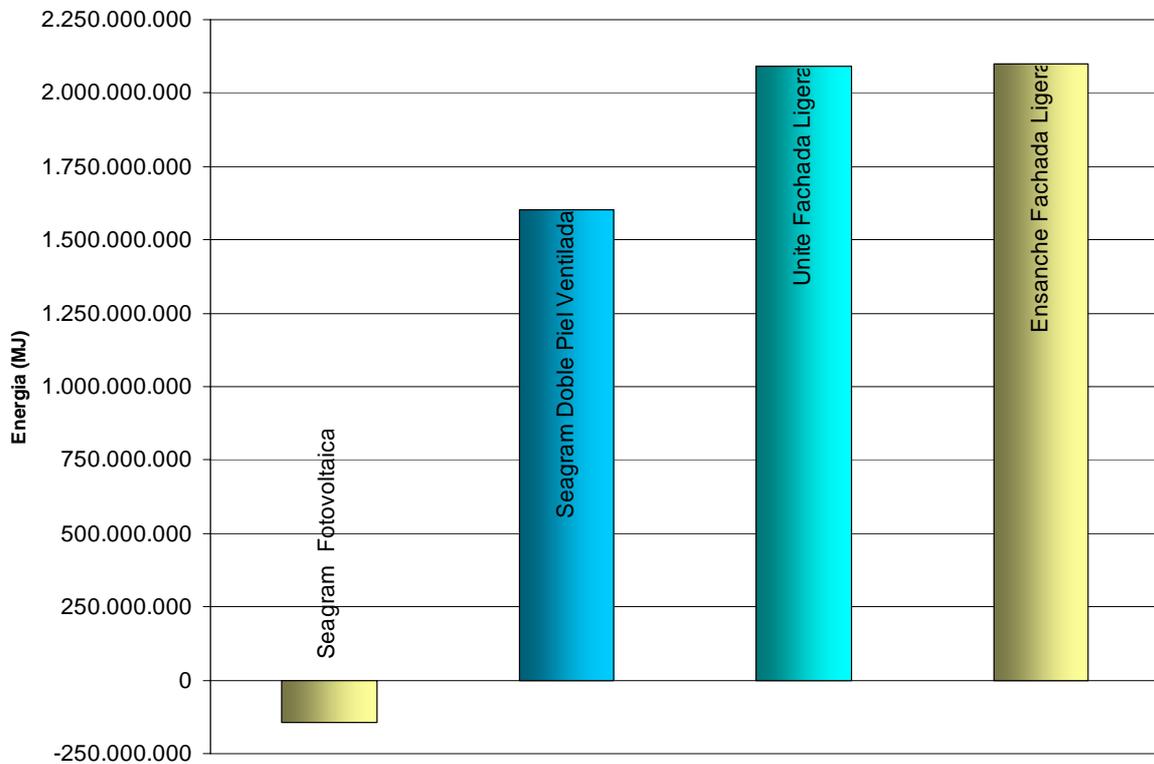
RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 100 AÑOS - BARCELONA					
ACV	IMPACTO AMBIENTAL	TIPOS DE FACHADAS			
					
		1. Modelo Seagram F. Fotovoltaica	2. Modelo Seagram Doble piel ventilada	3. Modelo Unité Fachada ligera	4. Modelo Ensanche Fachada ligera
PRODUCCION	Energía (MJ.)	225.743.146,85	232.216.040,98	185.151.441,34	185.418.279,14
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.468.107,95	21.686.313,21	18.831.591,22	19.560.187,73
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.821.542,81	10.794.309,33	10.250.959,17	11.042.440,49
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	862.476,96	860.306,45	817.001,45	880.082,51
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.231.580,03	20.180.665,27	19.164.836,70	20.644.562,66
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.421.720,13	2.415.625,63	2.294.030,95	2.471.154,15
USO (100 AÑOS)	Energía (MJ.)	-252.370.082,00	1.175.549.760,00	1.705.753.728,00	1.728.506.304,00
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-46.205.999,00	191.897.294,00	249.129.408,00	255.191.399,00
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	52.821.467,34	33.986.990,67	20.818.631,28	23.473.964,76
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	3.981.707,58	2.081.574,81	1.745.909,64	2.473.053,80
DEMOLICIÓN	Energía (MJ.)	9.584.178,36	9.584.178,36	13.968.926,16	18.156.597,60
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.576.490,57	1.576.490,57	2.046.040,08	2.496.280,80
TOTAL	Energía (MJ.)	66.831.833,39	1.482.311.944,60	1.955.108.522,65	1.987.242.148,65
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-15.895.495,80	220.517.604,67	274.863.981,34	283.072.157,99

RESUMEN IMPACTO AMBIENTAL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 100 AÑOS - MADRID					
ACV	IMPACTO AMBIENTAL	TIPOS DE FACHADAS			
					
		1. Modelo Seagram F. Fotovoltaica	2. Modelo Seagram Doble piel ventilada	3. Modelo Unité Fachada ligera	4. Modelo Ensanche Fachada ligera
PRODUCCION	Energía (MJ.)	225.743.146,85	232.216.040,98	185.151.441,34	185.418.279,14
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	21.468.107,95	21.686.313,21	18.831.591,22	19.560.187,73
TRANSPORTE	Energía (MJ.)	10.821.542,81	10.794.309,33	10.250.959,17	11.042.440,49
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	862.476,96	860.306,45	817.001,45	880.082,51
CONSTRUCCIÓN	Energía (MJ.)	20.231.580,03	20.180.665,27	19.164.836,70	20.644.562,66
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	2.421.720,13	2.415.625,63	2.294.030,95	2.471.154,15
USO (100 AÑOS)	Energía (MJ.)	-463.267.258,00	1.296.207.360,00	1.842.269.184,00	1.841.579.712,00
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-101.138.529,00	201.120.898,00	248.001.738,00	252.394.440,00
MANTENIMIENTO	Energía (MJ.)	52.821.467,34	33.986.990,67	20.818.631,28	23.473.964,76
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	3.981.707,58	2.081.574,81	1.745.909,64	2.473.053,80
DEMOLICIÓN	Energía (MJ.)	9.584.178,36	9.584.178,36	13.968.926,16	18.156.597,60
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	1.576.490,57	1.576.490,57	2.046.040,08	2.496.280,80
TOTAL	Energía (MJ.)	-144.065.342,61	1.602.969.544,60	2.091.623.978,65	2.100.315.556,65
	Emisiones CO ₂ (Kg.)	-70.828.025,80	229.741.208,67	273.736.311,34	280.275.198,99

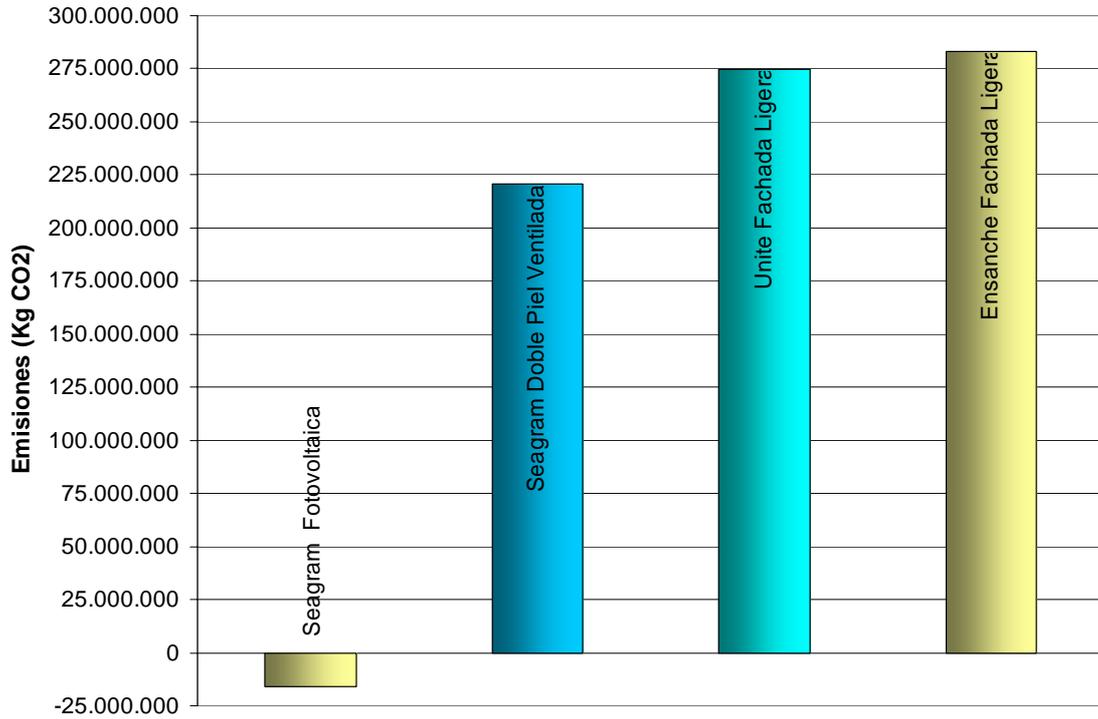
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 100 AÑOS- BARCELONA



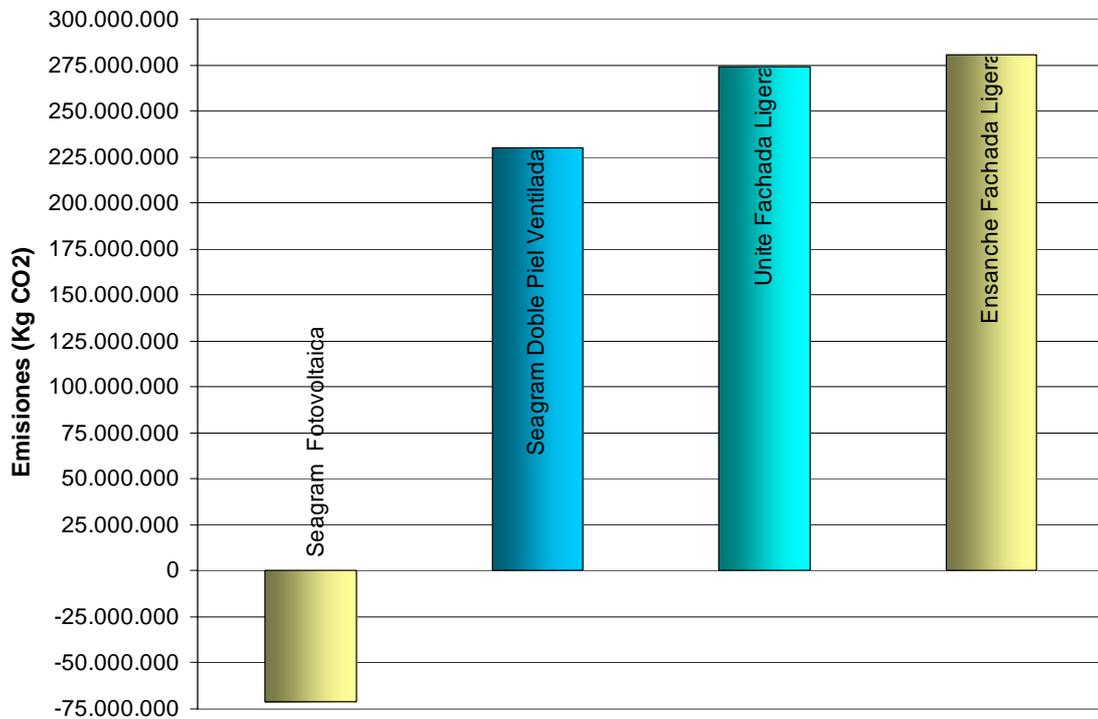
CUADRO RESUMEN TOTAL ENERGIA EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 100 AÑOS- MADRID



CUADRO RESUMEN EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 100 AÑOS- BARCELONA



CUADRO RESUMEN EMISIONES CO2 EN EL ACV DE LAS TIPOLOGÍAS MÁS SOSTENIBLES - 100 AÑOS- MADRID



CONCLUSIONES:

1. El rascacielos modelo Seagram con fachada trasventilada fotovoltaica y con fachada de doble piel de vidrio con cámara ventilada es el más sostenible de las tipologías estudiadas a lo largo del ciclo de vida completo del edificio, produciendo un impacto ambiental energético y de emisiones de CO2 considerablemente menor que las tipologías Unité y Ensanche con fachada ligera.

2. En este estudio final, al cabo de 100 años, el modelo Ensanche es el menos sostenible de los tipos propuestos. El modelo Unité tiene un impacto energético inferior al modelo Ensanche (1,62% inferior en Barcelona y 0,41% en Madrid). Le sigue el modelo Seagram con fachada de doble piel de vidrio con cámara (25,4% inferior al Ensanche en Barcelona y 23,68% en Madrid) y, finalmente, el que menos impacto ambiental produce, el Seagram con fachada trasventilada fotovoltaica (96,63% inferior al Ensanche en Barcelona y 106,86% en Madrid).

3. Al igual que sucedía en el capítulo anterior, a partir de los primeros 25 años de vida en adelante, a lo largo del ciclo de vida completo del edificio, el rascacielos con la solución de fachada trasventilada fotovoltaica es el que tiene un impacto ambiental menor. Esto se debe a dos factores: por un lado, el hecho de tratarse de una solución tipo fachada ventilada lleva asociada toda una serie de prestaciones (buen aislamiento térmico, ventilación de la cámara, etc.) que se traducen en una mejora del rendimiento energético del edificio; y por otro lado, el aprovechamiento que se hace del cerramiento que más superficie tiene en este tipo de edificios (fachada) para la captación de energía a través de las placas fotovoltaicas instaladas en las orientaciones sur, este y oeste. En el caso de Madrid, debido al alto índice de radiación solar global (un 20% superior al de Barcelona) es capaz incluso de aportar más energía al cabo de 75 años que la que se ha empleado para su construcción y funcionamiento. En el caso de Barcelona, al cabo de 100 años no se llega a equilibrar la energía empleada durante toda su vida útil con la que aporta el edificio. Para ello, se necesitarían 133,5 años.

4. La fachada de doble piel de vidrio con cámara ventilada se presenta como la mejor alternativa a la mencionada anteriormente. En realidad es la fachada pasiva más sostenible de las estudiadas (No hay que olvidar que la fachada trasventilada fotovoltaica no deja de ser una solución productiva). Pese al alto coste energético derivado de su construcción, desde los 25 años de funcionamiento en adelante es la solución pasiva que

menos impacto ambiental produce. Esto se debe a los beneficios energéticos que se derivan de ese espacio colchón ventilado que se crea entre ambas hojas. No es de extrañar que esta solución se extienda cada vez más en la edificación en altura.

5. Respecto a las dos ciudades, excepto la fachada trasventilada fotovoltaica, en todas las soluciones se necesita más energía durante todo el ciclo de vida del edificio en Madrid que en Barcelona. En lo que se refiere a las emisiones, dependiendo del tipo de fachada funcionan mejor en una ciudad o en la otra. La explicación de esta alternancia se da en el hecho de que cada solución y ciudad tienen unas necesidades concretas de climatización (más o menos calefacción y refrigeración) y las diversas fuentes energéticas de climatización producen diferentes emisiones de CO₂ (la calefacción produce menos emisiones de CO₂ que la refrigeración).

La fachada trasventilada fotovoltaica es más eficiente en Madrid que en Barcelona, ya que el índice de radiación solar global en Madrid es un 20% mayor que el de Barcelona.

CAPITULO 8. CONCLUSIONES FINALES. FINAL CONCLUSIONS.

8.1 CONCLUSIONES FINALES. (ESP)

8.1.1 SINTESIS DE LAS CONCLUSIONES PARCIALES

8.1.2 CONCLUSIONES FINALES EN RELACIÓN CON EL PLANTEAMIENTO Y RESULTADOS DE ESTA INVESTIGACIÓN.

8.1.3 POSIBLES NUEVAS VÍAS DE INVESTIGACIÓN A PARTIR DE ESTA TESIS.

8.1 FINAL CONCLUSIONS. (ENG)

8.1.1 SYNTHESIS OF THE PARTIAL CONCLUSIONS

8.1.2 FINAL CONCLUSIONS IN RELATION TO THE APPROACH AND RESULTS OF THIS RESEARCH.

8.1.3 POSSIBLE NEW WAYS OF RESEARCH FROM THIS THESIS.

8.1 CONCLUSIONES FINALES. (ESP)

El desarrollo de los temas tratados en los capítulos precedentes deja una serie de resultados cuantitativos y también de aproximaciones cualitativas que son necesarios recordar, ordenar, puntualizar y comentar en esta parte final de la tesis, donde tienen lugar las conclusiones finales.

Este último capítulo referente a las conclusiones finales se estructura en dos puntos: en primer lugar se recuerdan rápidamente las conclusiones parciales presentes en el final de cada capítulo. A continuación, tienen lugar las conclusiones finales, que se basan en las anteriores, abordando cada uno de los temas tratados de forma global.

En esta segunda parte tienen lugar una serie de reflexiones que se organizan metódicamente a partir de los resultados obtenidos, e intentan responder a los interrogantes planteados en la tesis.

8.1.1 SINTESIS DE LAS CONCLUSIONES PARCIALES.

En el capítulo 2 (En búsqueda de un método) se ha desarrollado un método -dentro de los múltiples posibles en el mercado- para cuantificar y analizar el impacto ambiental del rascacielos y otros tipos edificatorios. Este método consiste en el análisis del ciclo de vida resumido del edificio. A diferencia del método de ACV completo u otros métodos de cálculo existentes, el ACV resumido simplifica los cálculos, reduce de forma significativa el tiempo de realización de los mismos y los programas que sirven para su desarrollo son fáciles de manejar y gratuitos, condiciones todas ellas "sine qua non" que forman parte de las premisas de esta tesis.

El método ACV resumido lo hemos aplicado en diversos capítulos de esta investigación y nos ha permitido conocer el grado de sostenibilidad del edificio en altura en sus diversas variantes y respecto a otras tipologías edificatorias. Los resultados alcanzados, a pesar de la simplificación derivada del método utilizado, tienen un nivel de exactitud suficiente para la discusión planteada acerca de la sostenibilidad del edificio en altura.

En el capítulo 3 (Estudio del impacto ambiental y energético en el ciclo de vida de 5 tipos edificatorios) se ha realizado una primera aproximación para conocer el grado de sostenibilidad del edificio en altura. Para ello, se ha estudiado 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 abarcasen la mayoría de las implantaciones edificatorias que habitualmente nos encontramos en las ciudades.

Los resultados alcanzados derivados de tal estudio han permitido extraer las siguientes conclusiones:

- Respecto a los tipos edificatorios: El modelo de ciudad dispersa es el que genera un impacto ambiental y energético mayor, un 68,94% más que las tipologías más sostenibles, que son los modelos Unité y Ensanche. 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 3ª y 4ª posición en la clasificación de los tipos más sostenibles, no tienen una diferencia excesiva con el primero.
- 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 más sostenibles.
- Respecto al 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.
- 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.

- 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.

- 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.

En el capítulo 4 (La sostenibilidad a escala urbana del edificio en altura) se ha analizado la sostenibilidad del rascacielos a escala urbana, para comprender el impacto ambiental del edificio en altura de un modo más global. Para ello, se han estudiado las repercusiones medioambientales de un modelo urbano compacto como es el modelo del rascacielos respecto al modelo de ciudad dispersa, que es el prototipo de implantación hacia el que tiende gran parte del urbanismo en la actualidad. A través de diversos ejemplos construidos y estudios realizados se han podido comprobar por un lado los beneficios medioambientales que se derivan de un modelo compacto como el de los rascacielos y, por otro lado, el derroche energético y ambiental derivado del modelo de ciudad dispersa.

En la segunda parte del capítulo se han podido enumerar los diversos beneficios ambientales derivados de la estrategia urbanística de combinar la construcción en altura con espacios verdes generados alrededor, posibilitados por esta gran concentración de volumen en un punto. Se resumen en:

- Aumento de biodiversidad.
- Disminución de la contaminación atmosférica.
- Disminución de la morbilidad y enfermedades respiratorias.
- Mejora del microclima urbano.

Se han traído a colación diversos ejemplos existentes de esta combinación de rascacielos y espacios verdes y las diversas formas de implantación posibles de los mismos.

En el capítulo 5 (Hacia un rascacielos ecoeficiente. Mecanismos de ahorro energético en la edificación aplicables al rascacielos) se han ido enumerando los principales mecanismos de que dispone actualmente un edificio para ser más ecoeficiente (pasivos, mixtos, activos y productivos) y se ha analizado su aplicación al edificio en altura, así como

los beneficios ambientales asociados. Se ha podido ver que no es posible conseguir un grado de confort higrotérmico adecuado únicamente con sistemas pasivos. Este fin sólo se consigue mediante la combinación adecuada de los diversos sistemas en función de las diferentes variables que conforman el rascacielos.

En el capítulo 6 (Estudio del impacto ambiental y energético en el ciclo de vida de 6 fachadas para el rascacielos) se ha evaluado el impacto ambiental y energético de las diferentes tipologías de fachadas más habituales en la actualidad en España en la edificación en altura, se han puesto en comparación y se han visto cuáles de ellas funcionan mejor desde un punto de vista sostenible. En este capítulo se han aplicado a las fachadas algunos principios de ahorro energético expuestos en el apartado anterior.

Los resultados alcanzados derivados de tal estudio han permitido extraer las siguientes conclusiones:

1. Durante todo el ciclo de vida del edificio, el rascacielos con la solución de fachada trasventilada fotovoltaica es el que tiene un impacto ambiental menor. Esto se debe a dos factores: por un lado, el hecho de tratarse de una solución tipo fachada ventilada lleva asociada toda una serie de prestaciones (buen aislamiento térmico, ventilación de la cámara, etc.) que se traducen en una mejoría del rendimiento energético del edificio; y por otro lado, el aprovechamiento que se hace del cerramiento que más superficie tiene en este tipo de edificios (fachada) para la captación de energía a través de las placas fotovoltaicas instaladas en las orientaciones sur, este y oeste. En el caso de Madrid, debido al alto índice de radiación solar global (un 20% superior al de Barcelona) es capaz incluso de aportar más energía al cabo de 75 años que la que se ha empleado para su construcción y funcionamiento. En el caso de Barcelona, al cabo de 100 años no se llega a equilibrar la energía empleada durante toda su vida útil con la que aporta el edificio. Para ello, se necesitarían 133,5 años.

2. La fachada de doble piel de vidrio con cámara ventilada se presenta como la mejor alternativa a la mencionada anteriormente. En realidad es la fachada pasiva más sostenible de las estudiadas (No hay que olvidar que la fachada trasventilada fotovoltaica no deja de ser una solución activa). Pese al alto coste energético derivado de su construcción, desde los 25 años de funcionamiento en adelante es la solución pasiva que menos impacto ambiental produce. Esto se debe a los beneficios energéticos que se derivan de ese espacio colchón ventilado que se crea entre ambas hojas. No es de extrañar que esta solución se extienda cada vez más en la edificación en altura.

3. Durante todo el ciclo de vida del edificio, el rascacielos con la solución de muro cortina de vidrio es el que tiene un impacto medioambiental energético mayor. Esto se debe, por un lado, al alto coste derivado de su construcción y, por otro lado, a la gran cantidad de energía que hay que emplear para mantener el confort durante su vida útil debida al menor aislamiento térmico y mayor exposición de esta solución respecto al resto. Sin embargo, el rascacielos con muro cortina de vidrio no es el que produce el mayor impacto en emisiones de CO₂. Hasta los primeros 75 años de vida, la solución con más emisiones de CO₂ asociadas es la fachada con paneles sándwich de aluminio. A partir de los 100, esa posición la ocupa la fachada verde. La explicación la encontramos en que la solución de muro cortina necesita durante todo el año (especialmente en primavera y otoño) ligeramente más calefacción (produce pocas emisiones de CO₂) y menos refrigeración (produce más emisiones de CO₂) que otro tipo de fachadas como las trasventiladas o de panel sándwich de aluminio, en las que se da la situación inversa, debido a su mayor aislamiento térmico.

4. La fachada trasventilada verde, a pesar de ser una solución atractiva, secuestra un valor muy poco significativo de CO₂. Es capaz de fijar apenas 20.268 Kg de CO₂ al año, lo que equivale a una reducción de las emisiones de CO₂ durante un año en la fase de uso del edificio de apenas un 0,75% respecto a la fachada trasventilada de piedra.

Esta poca capacidad de absorción de CO₂ se debe al pequeño porte de las plantas que se pueden colgar en una fachada de estas características. Si quisiéramos aumentar este índice de secuestro de CO₂/m² año, deberíamos ir a plantas de mayor porte, pero aumentaríamos excesivamente el peso de las fachadas, lo que iría en contra del concepto de ligereza que, como hemos visto anteriormente, va completamente unido al de sostenibilidad.

El alto impacto ambiental derivado de su mantenimiento hace que desde los primeros 100 años en adelante, sea la solución menos sostenible en lo que a emisiones de CO₂ se refiere. En consecuencia, parece razonable que su aplicación en la edificación en altura se limite como mucho a las partes bajas del edificio (1/3 tercio de altura), en la que se puede apreciar mejor la vegetación desde la ciudad, donde es más fácil de ejecutar el mantenimiento de este tipo de acabados y está menos expuesto al viento y otros agentes atmosféricos que la pueden dañar.

Conviene resaltar que aunque la fachada trasventilada verde haya obtenido unos resultados de consumo energético iguales que los de una trasventilada de piedra, éstos deberían ser inferiores. La experiencia nos demuestra que el efecto adiabático de la

evaporación del agua presente en las plantas de la fachada haría mejorar sensiblemente el microclima cercano a las fachadas, con la consiguiente disminución de consumo de energía, especialmente en épocas de calor. Sin embargo esto es un fenómeno difícilmente cuantificable con un programa de ordenador.

5. Respecto a las dos ciudades, excepto la fachada trasventilada fotovoltaica, en todas las soluciones se necesita más energía durante todo el ciclo de vida del edificio en Madrid que en Barcelona. En lo que se refiere a las emisiones, dependiendo del tipo de fachada funcionan mejor en una ciudad o en la otra. La explicación de esta alternancia se da en el hecho de que cada solución y ciudad tienen unas necesidades concretas de climatización (más o menos calefacción y refrigeración) y las diversas fuentes energéticas de climatización producen diferentes emisiones de CO₂ (la calefacción produce menos emisiones de CO₂ que la refrigeración).

La fachada trasventilada fotovoltaica funciona mejor en Madrid que en Barcelona, ya que el índice de radiación solar global en Madrid es un 20% mayor que el de Barcelona.

En el capítulo 7 (Volviendo al origen. El rascacielos: ¿un modelo sostenible de edificación? Síntesis del impacto ambiental en el ciclo de vida completo del rascacielos y los tipos edificatorios urbanos más sostenibles) se ha elaborado una síntesis de los resultados obtenidos anteriormente en los estudios del impacto ambiental de los rascacielos y los modelos urbanos edificatorios más sostenibles para averiguar el grado de sostenibilidad del edificio en altura. Los resultados alcanzados derivados de tal estudio han permitido extraer las siguientes conclusiones:

1. El rascacielos modelo Seagram con fachada trasventilada fotovoltaica y con fachada de doble piel de vidrio con cámara ventilada es el más sostenible de las tipologías estudiadas a lo largo del ciclo de vida completo del edificio, produciendo un impacto ambiental energético y de emisiones de CO₂ considerablemente menor que las tipologías Unité y Ensanche con fachada ligera.

2. En este estudio final, al cabo de 100 años, el modelo Ensanche es el menos sostenible de los tipos propuestos. El modelo Unité tiene un impacto energético inferior al modelo Ensanche (1,62% inferior en Barcelona y 0,41% en Madrid). Le sigue el modelo Seagram con fachada de doble piel de vidrio con cámara (25,4% inferior al Ensanche en Barcelona y 23,68% en Madrid) y, finalmente, el que menos impacto ambiental produce, el

Seagram con fachada trasventilada fotovoltaica (96,63% inferior al Ensanche en Barcelona y 106,86% en Madrid).

3. Al igual que sucedía en el capítulo anterior, a partir de los primeros 25 años de vida en adelante, a lo largo del ciclo de vida completo del edificio, el rascacielos con la solución de fachada trasventilada fotovoltaica es el que tiene un impacto ambiental menor. Esto se debe a dos factores: por un lado, el hecho de tratarse de una solución tipo fachada ventilada lleva asociada toda una serie de prestaciones (buen aislamiento térmico, ventilación de la cámara, etc.) que se traducen en una mejoría del rendimiento energético del edificio; y por otro lado, el aprovechamiento que se hace del cerramiento que más superficie tiene en este tipo de edificios (fachada) para la captación de energía a través de las placas fotovoltaicas instaladas en las orientaciones sur, este y oeste. En el caso de Madrid, debido al alto índice de radiación solar global (un 20% superior al de Barcelona) es capaz incluso de aportar más energía al cabo de 75 años que la que se ha empleado para su construcción y funcionamiento. En el caso de Barcelona, al cabo de 100 años no se llega a equilibrar la energía empleada durante toda su vida útil con la que aporta el edificio. Para ello, se necesitarían 133,5 años.

4. La fachada de doble piel de vidrio con cámara ventilada se presenta como la mejor alternativa a la mencionada anteriormente. En realidad es la fachada pasiva más sostenible de las estudiadas (No hay que olvidar que la fachada trasventilada fotovoltaica no deja de ser una solución productiva). Pese al alto coste energético derivado de su construcción, desde los 25 años de funcionamiento en adelante es la solución pasiva que menos impacto ambiental produce. Esto se debe a los beneficios energéticos que se derivan de ese espacio colchón ventilado que se crea entre ambas hojas. No es de extrañar que esta solución se extienda cada vez más en la edificación en altura.

5. Respecto a las dos ciudades, excepto la fachada trasventilada fotovoltaica, en todas las soluciones se necesita más energía durante todo el ciclo de vida del edificio en Madrid que en Barcelona. En lo que se refiere a las emisiones, dependiendo del tipo de fachada funcionan mejor en una ciudad o en la otra. La explicación de esta alternancia se da en el hecho de que cada solución y ciudad tienen unas necesidades concretas de climatización (más o menos calefacción y refrigeración) y las diversas fuentes energéticas de climatización producen diferentes emisiones de CO₂ (la calefacción produce menos emisiones de CO₂ que la refrigeración).

La fachada trasventilada fotovoltaica es más eficiente en Madrid que en Barcelona, ya que el índice de radiación solar global en Madrid es un 20% mayor que el de Barcelona.

8.1.2 CONCLUSIONES FINALES EN RELACIÓN CON EL PLANTEAMIENTO Y RESULTADOS DE ESTA INVESTIGACIÓN.

De los resultados obtenidos en esta investigación pueden enumerarse las siguientes conclusiones finales:

1. El método ACV resumido ha permitido obtener unos resultados de cálculo con un nivel de exactitud suficiente para conocer el grado de sostenibilidad del edificio en altura en sus diversas variantes planteadas y otros tipos edificatorios, en un tiempo significativamente menor que el que se hubiese empleado con otros programas más complejos, gracias a su fácil manejabilidad y disponibilidad.

2. La adopción de un modelo de ciudad compacta junto con la combinación del edificio en altura y espacios verdes alrededor genera un modelo medioambientalmente sostenible de crecimiento y edificación urbana.

3. El modelo de ciudad dispersa es la forma de crecimiento urbana que genera un impacto ambiental y energético mayor, erigiéndose en un modelo de edificación medioambientalmente insostenible.

4. En igualdad de condiciones y con los mismos sistemas constructivos, los tipos edificatorios más sostenibles de los estudiados son los modelos Unité y Ensanche, seguido por el rascacielos modelo Seagram por una diferencia de impacto ambiental únicamente de un 8,71%.

5. 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 estudiados. 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 más sostenibles.

6. El rascacielos modelo Seagram con estructura de acero, mediante el sistema productivo de una fachada trasventilada fotovoltaica o el sistema pasivo de una fachada de doble piel de vidrio con cámara ventilada, puede llegar a convertirse en la tipología más sostenible de las estudiadas a lo largo del ciclo de vida completo del edificio, produciendo un impacto ambiental energético y de emisiones de CO₂ considerablemente menor que las tipologías Unité y Ensanche con fachada ligera.

7. Respecto a la disyuntiva de cuál de las dos ciudades principales de España (Madrid y Barcelona) es la más adecuada para la construcción en altura, Barcelona se demuestra, desde un punto de vista ambiental, como la urbe en la que menos impacto energético se produce a lo largo del ciclo de vida del edificio en altura.

La única excepción se encuentra en la fachada trasventilada fotovoltaica (debido al mayor índice de radiación solar global en Madrid).

En lo que se refiere a las emisiones de CO₂, dependiendo del tipo de fachada funcionan mejor en una ciudad o en la otra. La explicación de esta alternancia se da en el hecho de que cada solución y ciudad tienen unas necesidades concretas de climatización (más o menos calefacción y refrigeración) y las diversas fuentes energéticas de climatización producen diferentes emisiones de CO₂ (la calefacción produce menos emisiones de CO₂ que la refrigeración).

8.1.3 POSIBLES NUEVAS VÍAS DE INVESTIGACIÓN A PARTIR DE ESTA TESIS.

Una posible vía de investigación que se abre a partir de esta tesis podría ser la elaboración de un estudio del impacto ambiental y energético que produciría la implantación del modelo propuesto de combinación de edificación en altura y espacios verdes generados alrededor, en Madrid y Barcelona. De esta forma, se podrían visualizar de forma rápida y sencilla los beneficios ambientales asociados y de sus resultados se podrían obtener datos tan interesantes como, por ejemplo, la cantidad de emisiones de CO₂ que sería capaz de secuestrar o el grado de repercusión sobre el microclima del lugar. Se podrían incluso plantear diversos emplazamientos para ver cuál es el más adecuado para el fin que se persiga, por ejemplo: regenerar ambientalmente barrios muy degradados, o ver el impacto que produce sobre un barrio céntrico y con mucho tráfico. Otra variable que enriquecería enormemente el estudio sería ver qué vegetación sería la más adecuada para cada entorno y los beneficios ambientales asociados a esas especies.

8.1 FINAL CONCLUSIONS. (ENG)

The development of the studied themes in the previous chapters leaves a group of quantitative results and also of qualitative approximations that are necessary to remind, order, point out and mention in this final part of the thesis, where the final conclusions are presented.

This last chapter referent to the final conclusions is structured in two parts: firstly, the partial conclusions mentioned in the final part of each chapter are quickly remembered. Secondly, the final conclusions are presented, based on the previous conclusions, and each one of the studied themes is dealt in a global way.

In this second part we find a group of reflections that are organized methodically from the obtained results, and try to answer the questions raised in the thesis.

8.1.1 SYNTHESIS OF THE PARTIAL CONCLUSIONS.

In the chapter 2 (Searching a method) a method has been developed –between the multiple possibles in the market- to quantify and analyze the environmental impact of the skyscraper and other kind of buildings. This method consists on the analysis of the summarized life cycle of the building. Unlike the method of the complete LCA (Life cycle analysis) or other existing methods of calculation, the summarized LCA simplifies the calculations, reduces in a signifier way the time of carrying them out and the programs required for their development are easy to use and free, conditions all them “sine qua non” in the premises of this thesis.

The summarized LCA method has been put into practice in different chapters of this research and has permitted us to know the grade of sustainability of the high-rise with their different variants and various types of buildings. The obtained results, despite the simplification due to the method that has been used, have an enough level of accuracy for the question set out about the sustainability of the high-rise.

In the chapter 3 (Research of the environmental and energy impact in the LCA of 5 types of buildings) it has been carried out a first approximation to know the grade of sustainability of the high-rise. For this reason, it has been studied the environmental and energy impact of the skyscraper during its full life cycle, comparing it to other types of urban buildings, with enough types (total 5) that cover the majority of the buildings that we usually find in the cities.

The results derived from this research have permitted to reach the following conclusions:

- Regarding the building types: The model of urban sprawl is the one that generates the highest environmental and energy impact, a 68,94% more than the most sustainable types, which are the model "Unité" and "Ensanche". Both skyscrapers, the models "JHC" and "Seagram" have results of energy and emissions of CO₂ higher than the ones from the model "Unité": a 16,43% and 8,71% respectively. Therefore, these skyscrapers, despite being ranked the 3rd and 4th in the list of the most sustainable buildings, have results that are not excessively different from the results of the best model.
- Regarding the different phases in the life cycle: from the graphics with the percentages of each phase of the life cycle, we can deduce that the use is the most important phase in the course of the building's useful life cycle. After 100 years, it represents between 78-87% of the total energy and emissions in all the building types. The material production phase is very important during the first years of the building life, but from 25 years of useful life on it begins to be less important in favor of the use phase, which then it already represents a percentage of 54-68% of the total environmental impact. Since the use is the most decisive phase in the life cycle, the buildings that have less contact with the outside, that is, the most compact, produce less environmental impact. That's the reason why the models "Unité" and "Ensanche", with the lowest shape coefficient (relation between facade surface and volume) are the most sustainable.
- Regarding the shape coefficient: Despite the model "Ensanche" has a quite lower shape coefficient from the model "Unité" (0,074 and 0,1069, respectively), the environmental impact of both is almost the same. This is because the best orientation of the model "Unité", that has much more facade surface oriented to the north and south, with the consequent improvement of its thermal behavior, that makes up for the difference of the shape coefficient.
- Regarding the type of structure: After 100 years, the environmental impact derived from the use of a structure made of steel or made of reinforced concrete is almost the same. During the first 25 years of useful life, the type of

chosen structure does have a lot of importance, however, from 50 years on, the percentage of repercussion over the total environmental impact is less and less, arriving in 100 years to represent only a 6-12% of the total environmental impact.

Anyway, we can conclude that, as it has been seen in the corresponding section of the energy and emissions derived from the production and extraction of materials, buildings with steel structure, due to their high energy costs for the manufacturing of steel (20 times higher than the concrete), they have a higher environmental impact than the buildings of reinforced concrete in all the studied types except for the skyscrapers. In skyscrapers with a structure of reinforced concrete there is an important increase of the quantity of steel in their structures to reinforce them. This is due to the high structural solicitations to which they are subjected. Its effect increases until making the structures of reinforced concrete of these buildings have a higher environmental impact than the steel structures.

It is also important to point out that although the energy costs of making the steel structures are high, the costs of recycling them are small and they can be recycled indefinitely. For decreasing the impact of the steel structures, they must be projected with easily removable joints (screwed, not welded) and with standard measures of their components, what would assure their re-use. In this case, a steel structured building would have a lower environmental impact than one of reinforced concrete.

Consequently, the grade of sustainability of the building according to its structure will depend firstly on if its recycled or not, re-used or made "from zero" and secondly on the type of building that we are going to build.

- Regarding the cities of location (Madrid and Barcelona): From the obtained results, we can conclude that more energy is required in Madrid than in Barcelona for all the building types. Regarding the emissions, it is the opposite, although in most cases they are practically the same. If we have a look at the graphics by seasons, we can clearly see the reason: except in summer, in spring and autumn more cooling is required in Barcelona than in Madrid, with the consequent more production of emissions of CO₂.

- Regarding the type of facade, light or heavy: We can conclude that the heavy facade buildings after 100 years have a higher environmental impact than the light facade buildings. Despite heavy facades have a better thermal insulation, the higher cost of the extraction, production, transport, building and use for maintaining the hygrothermal comfort results in a higher environmental impact than the light facades.

In the chapter 4 (Sustainability at urban scale in the high-rise) the sustainability of the skyscraper at urban scale has been analyzed, for understanding the environmental impact of the high-rise in a more global view. Therefore, we have studied the environmental repercussions of a compact urban model like the skyscraper respect the model of urban sprawl, which is the prototype of growth to which the majority of urbanism is nowadays tending to. Through different built examples and researches, we have realized, on the one hand, of the environmental benefits derived from a compact model like the skyscraper and, on the other hand, the energy and environmental waste derived from the model of urban sprawl.

In the second part of this chapter it's been able to list the different environmental benefits derived from the urban development strategy of combining the high-rise with green spaces generated around, enabled for this great concentration of volume in one point. It is summarized in:

- Increase of biodiversity.
- Decrease of atmospheric pollution.
- Decrease of mortality and respiratory desases.
- Improvement of the urban microclimate.

We have brought up different real examples of this combination of skyscrapers and green spaces and the different ways of possible implantation of them.

In the chapter 5 (Towards an eco-efficient skyscraper. Mechanisms of energy saving in buildings applicable to the skyscrapers) we have listed the main mechanisms that nowadays a building has to be more eco-efficient (passive, mixed, active and productive) and we have also analyzed their application in the high-rise, as well as the environmental benefits associated. We have seen that it's not posible to obtain an adequate hygrothermal comfort grade only with passive systems. It's only possible to obtain this aim with the

adequate combination of the different systems according to the different variables that make up the skyscraper.

In the chapter 6 (Research of the environmental and energy impact in the life cycle of 6 facades for the skyscraper) we have evaluated the environmental and energy impact of the different types of the most common facades that we find nowadays in Spain in the high-rises, we have compared them and we have seen which work better from a sustainable point of view. In this chapter we have applied to the facades some principles of energy saving that have been exposed in the last section.

The results derived from this research have permitted to reach the following conclusions:

1. During the whole life cycle of the building, the skyscraper with the solution of photovoltaic ventilated facade is the one that has a lower environmental impact. This is caused by two reasons: on the one hand, the fact of being a ventilated facade solution implies some benefits (good thermal isolation, ventilation of the chamber, etc.) that results in an improvement of the building energy performance; and on the other hand, the exploitation of the closing that has more surface in this kind of buildings (facade) for the reception of energy through the installed photovoltaic panels on the south, east and west orientation. In the case of Madrid, due to the high level of global sun radiation (20% higher than Barcelona) it is even capable of contributing more energy after 75 years than the energy that has been used for its building and use. In the case of Barcelona, after 100 years the energy that is gained through the panels doesn't balance the energy used during all the useful life. For balancing this energy it would be needed 133,5 years.

2. The double skin of glass with ventilated chamber is the best alternative to the previous facade. Actually it is the most sustainable passive facade between the studied examples (We shouldn't forget that the photovoltaic ventilated facade is an active solution). Despite the high energy cost derived from its construction, from the 25 years of life on, it is the passive solution that produces a lower environmental impact. This is caused by the energy benefits derived from this ventilated space created between both leaves. It's hardly surprising that this solution is every time more extended in the high-rises.

3. During the whole life cycle of the building, the skyscraper with the curtain wall facade is the building that has a higher energy environmental impact. This is caused by, on one hand, the high cost derived from its construction and, on the other hand, from the large

quantity of energy used to keep the comfort during its useful life due to the lower thermal isolation and the higher exposure of this solution with regard to the rest. However, the skyscraper with the curtain wall facade is not the one that produces the higher impact with emissions of CO₂. Until the first 75 years of life, the solution with more associated emissions of CO₂ is the facade with aluminum sandwich panels. From 100 years on, this position is occupied by the green facade. The explanation is that the curtain wall needs during all the year (specially on spring and autumn) more heating (produces few emissions of CO₂) and less cooling (produces more emissions of CO₂) than other type of facades as the ventilated or the aluminum sandwich panels, in which it is the opposite, due to their higher thermal isolation.

4. The green ventilated facade, despite being an attractive solution, sequestrates an insignificant quantity of CO₂. It is capable of fixing only 20.268 Kg of CO₂ a year, which is equivalent to a reduction of the emissions of CO₂ during a year in the phase of use of the building of only a 0,75% respect to the ventilated facade of stone.

This little capacity of absorption of CO₂ is caused by the little size of the plants that can be hanged on this kind of facade. If we wished to increase this index of sequestration of CO₂/m² year, we should choose bigger plants, but we would also increase excessively the weight of the facades. This action would be against the concept of lightness that, as we have seen before, goes completely together to the concept of sustainability.

The high environmental impact derived from its maintenance makes that from the first 100 years on, it is the less sustainable solution in emissions of CO₂. Consequently, it seems reasonable that it's application in a high-rise is used at the most, in the lower parts of the building (1/3rd of height), where the vegetation can be seen better from the city, where it's easier to do the maintenance of this kind of finishings and it is less exposed to the wind and other atmospheric agents that can damage it.

It is important to underline that although the green ventilated facade has obtained the same energy consumption results than the stone ventilated facade, they should be lower. The experience proves that the adiabatic effect of the evaporation of the present water in the facade plants would considerably improve the microclimate near the facades, with the consequent decrease of energy consumption, especially on hot seasons. Anyway, it is very difficult to quantificate this phenomenon with a computer program.

5. Regarding both cities, except the photovoltaic ventilated facade, in all the solutions more energy is needed during all the life cycle of the building in Madrid than in Barcelona. Regarding the emissions, depending on the kind of facade, they work better in one city or in the other city. The explanation of this alternation is in the fact that each solution and city has concrete requirements of air conditioning (more or less heating and cooling) and the different energy sources of air conditioning produce different emissions of CO₂ (heating produces less emissions of CO₂ than cooling).

The photovoltaic ventilated facade works better in Madrid than in Barcelona because the index of global sun radiation in Madrid is 20% higher than in Barcelona.

In the chapter 7 (Going back to the origin. The skyscraper: a sustainable model of building? Synthesis of the environmental impact in the complete life cycle of the skyscraper and the most sustainable urban building types) we have made a synthesis of the previously obtained results in the researches about the environmental impact of the skyscrapers and the most sustainable urban building models to know the grade of sustainability of the high-rise. The results derived from this research have permitted to reach the following conclusions:

1. The model "*Seagram*" of skyscraper with photovoltaic ventilated facade and with facade of double skin of glass with ventilated chamber is the most sustainable of the studied types during the complete life cycle of the building, producing an energy impact and emissions of CO₂ considerably lower than the model "*Unité*" and "*Ensanche*" with light facade.

2. In this final research, after 100 years, the model "*Ensanche*" is the less sustainable of the studied types. The model "*Unité*" has a lower energy impact than the model "*Ensanche*" (1,62% lower in Barcelona and 0,41% lower in Madrid). After the model "*Unité*" it comes the model "*Seagram*" with facade of double skin of glass with ventilated chamber (25,4% lower than the model "*Ensanche*" in Barcelona and 23,68% in Madrid) and, finally, the model that produces less environmental impact, the "*Seagram*" with photovoltaic ventilated facade (96,63% lower than the model "*Ensanche*" in Barcelona and 106,86% in Madrid).

3. As we have seen in the last chapter, from the first 25 years of life on, during the complete life cycle of the building, the skyscraper with the solution of photovoltaic ventilated facade is the one that produces a lower environmental impact. This is caused by two

reasons: on the one hand, the fact of being a ventilated facade solution implies some benefits (good thermal isolation, ventilation of the chamber, etc.) that results in an improvement of the building energy performance; and on the other hand, the exploitation of the closing that has more surface in this kind of buildings (facade) for the reception of energy through the installed photovoltaic panels on the south, east and west orientation. In the case of Madrid, due to the high level of global sun radiation (20% higher than Barcelona) it is even capable of contributing more energy after 75 years than the energy that has been used for its building and use. In the case of Barcelona, after 100 years the energy that is gained through the panels doesn't balance the energy used during all the useful life. For balancing this energy it would be needed 133,5 years.

4. The double skin of glass with ventilated chamber is the best alternative to the previous facade. Actually it is the most sustainable passive facade between the studied examples (We shouldn't forget that the photovoltaic ventilated facade is an active solution). Despite the high energy cost derived from its construction, from the 25 years of life on, it is the passive solution that produces a lower environmental impact. This is caused by the energy benefits derived from this ventilated space created between both leaves. It's hardly surprising that this solution is every time more extended in the high-rises.

5. Regarding both cities, except the photovoltaic ventilated facade, in all the solutions more energy is needed during all the life cycle of the building in Madrid than in Barcelona. Regarding the emissions, depending on the kind of facade, they work better in one city or in the other city. The explanation of this alternation is in the fact that each solution and city has concrete requirements of air conditioning (more or less heating and cooling) and the different energy sources of air conditioning produce different emissions of CO₂ (heating produces less emissions of CO₂ than cooling).

The photovoltaic ventilated facade works better in Madrid than in Barcelona because the index of global sun radiation in Madrid is 20% higher than in Barcelona.

8.1.2 FINAL CONCLUSIONS REGARDING THE APPROACH AND RESULTS OF THIS RESEARCH.

From the obtained results of this research we can draw the following final conclusions:

1. The summarized LCA (life cycle analysis) method has made us possible to obtain calculation results with a level of enough accuracy to know the grade of sustainability of the high-rise in their different proposed types and other models of buildings, in a time significantly lower than the time that would have been necessary with other more complex programs, thanks to its easy use and availability.

2. The adoption of a model of compact city together with the combination of the high-rise building and green spaces around generates a sustainable environmental model of growth and urban building.

3. The model of urban sprawl is the urban growth form that generates a higher energy and environmental impact, becoming a model of unsustainable environmental building.

4. On equal terms and with the same constructive systems, the most sustainable buildings among the studied types are the models "*Unité*" and "*Ensanche*", followed by the model of skyscraper "Seagram" by a difference of environmental impact of only 8,71%.

5. The use is the most important phase along the life cycle of the building. After 100 years, it represents between a 78-87% of the total energy and emissions of all the studied types. The phase of production of materials has a lot of importance during the first years of life of the building, but after 25 years, it begins to have less importance in favour of the use that then it represents a percentage of between the 54-68% of the total environmental impact. In view of the fact that the use is the most decisive phase in the life cycle, the buildings that have less contact with the exterior, that is, the most compacts are the buildings that produce less environmental impact. That is why the models "*Unité*" and "*Ensanche*", with the lower form coefficient (relation between surface of facade and volume) are the most sustainable of all.

6. The "Seagram" skyscraper with steel structure, through the productive system of photovoltaic ventilated facade or the passive system of a facade of double glass skin with ventilated chamber, can become the most sustainable type among the studied models along

the complete life cycle of the building, producing an energy environmental impact and emissions of CO₂ considerably lower than the type "Unité" and "Ensanche" with light facade.

7. Respecting the dilemma of which one of both main cities of Spain (Madrid and Barcelona) is the most appropriate for the high-rise construction, it is proved that Barcelona, from an environmental point of view, is the city where less energy impact is produced along the life cycle of the high-rise.

The unique exception is the photovoltaic ventilated facade (due to the higher index of global sun radiation in Madrid).

Respecting the emissions of CO₂, depending of the type of facade, they work better in one city or in the other. The explanation of this alternation is in the fact that each solution and city has concrete requirements of air conditioning (more or less heating and cooling) and the different energy sources of air conditioning produce different emissions of CO₂ (heating produces less emissions of CO₂ than cooling).

8.1.3 POSSIBLE NEW WAYS OF RESEARCH FROM THIS THESIS.

A possible way of research that comes from this thesis could be the making of a study of the energy and the environmental impact that would produce the implantation of the proposed model of combination of high-rise and green spaces generated around, in Madrid and Barcelona. This way, we could see in a quickly and simple way the environmental associated benefits and from their results we could obtain interesting information as, for instance, the quantity of emissions of CO₂ capable of sequestering or the grade of repercussion over the microclimate of the place. We could even consider different sites for knowing which one is the most appropriate for the pursued purpose, for instance: regenerate environmentally diminished neighborhoods, or seeing the impact that produces over a central neighborhood and with a lot of traffic. Another variable that would enormously enrich the research would be discovering which vegetation would be the most appropriate for each place and the environmental associated benefits to these species.

CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFIA

9.1 BIBLIOGRAFIA DE REFERENCIA.

9.2 NORMATIVA DE REFERENCIA.

9.3 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

9.4 BIBLIOGRAFIA WEB.

9.1 BIBLIOGRAFIA DE REFERENCIA.

[ARANDA et al. 2006] ARANDA, A.; ZABALZA, I.; MARTINEZ, A.; VALERO, A.; SCARPELLINI, S.

El análisis del ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial.

Fundación Confemetal, Madrid, España, 2006, ISBN 849616974X.

ARAUJO, Ramón (2008)

Vestidos de altura. Fachadas de Rascacielos, la experiencia de Madrid.

Arquitectura Viva, Julio 2008, nº 121.

AZPILICUETA, Enrique (2010)

Hacia un óptimo energético. Instalaciones y energía.

Tectónica: Energía II, Febrero 2010, nº 31.

BAKER, N.V. (1992)

Energy and Environment in Non-Domestic Buildings: A Technical Guide.

Cambridge University Press con Cambridge Architectural Research Ltd. y The Martin Centre for Architectural and Urban Studies, Cambridge, 1992.

BARRY, R.G.; CHORLEY, R.J. (1999)

Atmósfera, tiempo y clima.

Ed. Omega, 7ª edición, Barcelona, 1999.

BOESIGER, Willy (1971)

Le Corbusier, 1910-65

Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1971.

BRIEGLEB Till (2000)

High Rise RWE AG Essen/ Ingenhoven Overdiek und Partner.

Basilea: Birkhäuser Verlag, 2000.

BROWN, Lester y JACOBSON, Jodi L. (1987)

The Future of Urbanization: Facing the Ecological and Economic Constraints.

Washington D.C.; Worldwatch Institute, 1987.

BUCCI, Federico (2010)

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. nº 790.

CALVINO, Italo. (2001)

Seis propuestas para el próximo milenio

Ed. Siruela, Madrid, abril 2001.

CEPEDA, M.; MARDARAS LARRAÑAGA, I. (2004)

Cuantificación energética de la construcción de edificio y el proceso de urbanización o los proyectos.

Revista Con Arquitectura nº 12 de 2004.

CLUSA, J. (1991)

Características y previsiones socioeconómicas al Plan Especial de la cordillera Marina.

Ed. AMB, 1991.

CUCHÍ I BURGOS, Albert (2002)

La cubierta captadora en los edificios de viviendas.

ITEC, Barcelona, 2002.

CUCHÍ, A.; SAGRERA, A.; WADEL, G.; LÓPEZ, F.; MORENO, A.; VIDAL, J.; CANTOS, S. (2007)

Estudio de reducción de emisiones de CO2 en un conjunto de 60 VPO.

(doc. Elec., consulta on line, 02/09 www.saas.cat), Sabaté ass. Arquitectura i Sostenibilitat, 2007.

DANIELS, Klaus (1995)

Klima und Gebäudeform

en *Technologie des Ökologischen Bauens*, Birkhäuser, Berlín, 1995.

EDWARDS, Brian. (2008)

Guía Básica de la Sostenibilidad,

Editorial Gustavo Gili, 2ª ed, Barcelona, 2008.

EMT, Empresa Municipal de Transportes de Madrid, S.A. (2005)

Informe Anual 2004

Empresa Municipal de Transportes de Madrid, S.A. Madrid, 2005.

ENCABO SEGUÍ, Enrique, (2009)

Técnica y estrategias sobre la construcción de la Torre SYV

Ed. Q! Studio, Madrid, julio 2009.

FALCÓN, Antoni (2007)

Espacios verdes para una ciudad sostenible. Planificación, proyecto, mantenimiento y gestión.

Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 2007.

FARIÑA TOJO, José (1998)

La ciudad y el medio natural.

Ed. Akal, Madrid, 1998. ISBN: 8446010801.

FIGUEROA CLEMENTE, Manuel Enrique, (2007)

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.

FULLANA, P. y PUIG, R., (1997)

Análisis de ciclo de vida.

Rubes Editorial, Barcelona, 1997, ISBN 8449700701.

GIVONI, B.

Passive and Low-Energy Cooling of Buildings.

Van Nostrand Reinhold, Nueva York, 1994.

GORMAN, M.L. (1991)

Ecología Insular.

Ed. Vedral, Barcelona, 1991.

[HAMMOND, JONES 2007], HAMMOND, J.; JONES, C.

Inventory of Carbon & Energy (ICE).

(doc. Ele.), University of Bath, Reino Unido, 2007.

HAUSLADEN, Gerhard et al. (2005)

Climate Design: Solutions for buildings that can do more with less technology.

Ed. Birkhäuser, Basilea, 2005.

[HEGGER et al. 2006], HEGGER, M., AUCH-SCHWELK, V., FUCHS, M., ROSENKRANZ, T.,

Construction materials manual.

Birkhäuser edition Detail, Munich, Alemania, 2006, ISBN 3764375701.

HERZOG, T. (1996)

Solar Energy in Architecture and Urban Planning.

Prestel, Munich, 1996.

HERZOG, Thomas (2001)

Architecture + Technology.

Ed. Prestel, Munich, 2001.

HERZOG, Thomas et Al. (2007)

Carta europea de la energía solar en la arquitectura y el urbanismo.

Ed. Prestel Verlag, Munich, Berlin, London, New York, 2007.

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K. (2007)

Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern.

Water Resources Management 21 (1). 2007.

HOUGH, M. (1998)

Naturaleza y ciudad.

Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1998.

INDOVINA, F. (1990)

La città diffusa.

Venecia, Daest; Indovina, F. (Ed.) 1990.

[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.

KENWORTHY, Jeff y Felix LAUBE (2001)

Millennium Cities Database for Sustainable Transport.

(1999-2001), UITP, Bruselas.

LE CORBUSIER (2007)

Cuando las catedrales eran blancas. Viaje al país de los tímidos.

Ed. Apóstrofe, Madrid, 2007.

LECHNER, Norbert. (2008)

Iluminación natural.

Tectónica: Iluminación natural, Abril 2008, nº 26.

LYNCH, Kevin (1980)

Planificación del sitio.

Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1980.

Mc PHERSON, E. GREGORY, NOWAK, DAVID J. y otros. (1993)

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.

MAGRINYÀ, Francesc; MARZÀ, Fernando (2010)

Cerdà 150 años de modernidad.

Ed. Actar. Fundació Urbs i Territori Ildefons Cerdà, Barcelona, 2010.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2007)

Libro Verde del medio ambiente urbano.

Ministerio de Medio Ambiente. Marzo 2007.

MONCLÚS, F.J. (1998)

La ciudad dispersa.

Barcelona, Centre de Cultura Contemporània de Barcelona, 1998.

NAREDO, J.M. y FRÍAS, J. (2003)

Metabolismo económico de la conurbación madrileña (1984-1991).

Economía Industrial, nº 351.

NEILA, F.J. (2004)

Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible.

Ed. Munilla-Lería, Madrid, 2004.

OLGYAY, Victor (1998)

Arquitectura y Clima.

Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1998.

PAEHLKE, Robert. (1990)

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.

PARICIO, Ignacio; PARDAL, Cristina, (2006)

La fachada ventilada y ligera.

Ed. Bisagra, Barcelona, noviembre 2006.

[POSADA et Al. 2009], Martha Isabel POSADA, María de Pilar ARROYAVE, Carlos FERNÁNDEZ.

Influencia de la vegetación en los niveles de ruido urbano.

Revista EIA, diciembre de 2009.

[RIERADEVALL et al. 2005] Joan RIERADEVALL.

Ecofanal. Ecodisseny d'elements urbans 2005-2006.

Universitat Autònoma de Barcelona/ Generalitat de Catalunya, Barcelona, España, 2005.

RODRÍGUEZ VIQUEIRA, Manuel (2001)

Introducción a la arquitectura bioclimática.

Ed. Universidad Autónoma Metropolitana. México, 2001.

[ROSENFELD et Al.] (1997)

Painting the Town White and Green.

Technology Review, febrero/marzo de 1997.

ROUSSEL, I. (2001)

L'ozone des villes et l'ozone des champs. Ou les relations ambigües entre pollution atmosphérique et périurbanisation.

Géocarrefour. Revue de Géographie de Lyon. Vol. 76, nº4.

RUEDA PALENZUELA, Salvador. (1995)

Ecología urbana: Barcelona i la seva regió metropolitana com a referents.

Ed. Beta, Barcelona, 1995.

RUEDA, Salvador (2002)

Barcelona, ciudad mediterránea, compacta y compleja. Una visión de futuro más sostenible.

Ed. Ayuntamiento de Barcelona, Barcelona, 2002.

[SAAS et al. 2007], CUCHÍ, A. y PAGÉS, A.

Sobre una estrategia para dirigir al sector de la edificación hacia la eficiencia en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI),

Ministerio de la Vivienda, octubre de 2007. Consulta online, 02/2010, www.mviv.es

SALVATORE, Fidenzio. (1982)

The Potential Role of Vegetation in improving the Urban Air Quality, A Study of Preventative Medicine.

Willowdale, Ontario: Mork-Toronto Lung Association, 1982.

SAMBRICIO, C. (1999)

Madrid, Ciudad-Región.

Vol. I *De la ciudad ilustrada a la primera mitad del siglo XX*, Madrid, 1999.

SEKKEI, Nihon (1984)

Energy Conservation Measures for High-Rise Buildings.

JETRO (Japan External Trade Organisation) Publishing, Tokio, 1984.

SERRA, Rafael (1999)

El disseny energètic a l'arquitectura.

Ed. UPC, 3ª ed. Barcelona, 1999.

[SETAC 2003] SHPRESA, Kotaji, AGNES, Schuurmans, SUZY, Edwards.

Life-Cycle Assessment in Building and Construction: A State-of-the-Art Report.

Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 2003, ISBN 9781880611593.

SCHMID, James A. (1997)

Urban Vegetation.

Universidad de Chicago, Departamento de Geografía, Research Paper nº 161, 1975.

STEELE, James (1997)

An architecture for people: the complete Works of Hassan Fathy.

Ed. Thames and Hudson, London, 1997.

SUDJIC, D. (1992)

The 100 mile city.

London: Flamingo/Harper Collins. 1992.

SUTTOR, Wolfgang (2010)

Cogeneración en edificios.

Detail Green: 2010, nº 7.

VITRUVIUS (1931)

On Architecture.

Traducido por Frank Granger, William Heineman, Londres, 1931.

VON WEISZACKER, E., A.B. LOVINS, y L.H. LOVINS, (1997)

Factor Four: Doubling wealth, Halving Resource Use.

Earthscan Publications Ltd., Londres, 1997.

WAINWRIGHT, C.W.K. y WILSON, M.J.G. (1962)

Atmospheric Pollution in a London Park.

International Journal of Air and Water Pollution, vol.6, 1962.

WBCST (World Business Council for Sustainable Transport) (2004),

Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability.

WBCST, Génova. 2004.

[WOOLEY, KIMMINS, 2000], Tom WOOLEY, Sam KIMMINS.

Green Building Handbook (Volúmenes 1 y 2).

Spoon press, Londres, Reino Unido, 2000, ISBN 0419253807.

WADEL, Gerardo (2009)

La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda.

Tesis doctoral. Julio 2009.

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)

YÁÑEZ, Guillermo (2008)

Arquitectura solar e iluminación natural.

Ed. Munilla-Lería, Madrid, 2008

YEANG, Ken (1994)

Bioclimatic Skyscrapers.

Ellipsis, London Ltd, Londres, 1994.

YEANG, Ken (1999)

El rascacielos ecológico.

Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 2001.

9.2 NORMATIVA DE REFERENCIA.

UNIÓN EUROPEA

Directiva Europea de eficiencia energética de los edificios

Directiva 2010/31/UE

Diario Oficial de la Unión Europea. 19 de mayo de 2010.

MINISTERIO DE FOMENTO DE ESPAÑA

Código Técnico de la Edificación (CTE)

Documento Básico HE: Ahorro de Energía.

Madrid, Ministerio de Fomento. 2011.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO DE ESPAÑA

Real Decreto de Certificación Energética (RD 47/2007)

Madrid, Ministerio de Fomento. 2007.

GENERALITAT DE CATALUNYA

Decreto de Ecoeficiencia de Cataluña. Decreto 21/2006

9.3 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

ÁBALOS VAZQUEZ, Iñaki (2000)

Técnica y arquitectura en la ciudad contemporánea, 1950-1990.

3ª Ed. Nerea, Madrid, 2000. ISBN: 84-86763-74-6

ÁLVAREZ GARRETA, Ariadna (2001)

Rascacielos.

Ed. Atrium Internacional, Mexico, 2001. ISBN: 84-95692-51-1

ASENSIO CERVER, Francisco (1997)

La arquitectura de los rascacielos.

Ed. Arco, Barcelona, 1997. ISBN: 84-8185-087-X

BENNETT, David (1995)

Skyscrapers: the world's tallest buildings and how they work.

Ed. Aurum Press, London, 1995. ISBN: 1-85410-371-7

BROTO, Eduard (2011)

High density: soluciones para el futuro.

Ed. Links, Barcelona, 2011. ISBN: 978-84-96969-75-9

CUCHÍ I BURGOS, Albert (2003)

Parámetros de sostenibilidad.

ITEC, Barcelona, 2003. ISBN: 84-7853-461-1

EISELE, Johann (2003)

High-rise manual: typology and design, construction and technology.

Ed. Birkhäuser, Basel, 2003. ISBN: 3-7643-0274-7

FOSTER, Norman (2010)

Hearst Tower, Foster+Partners.

Ed. Prestel, Munich, 2010. ISBN: 978-3-7913-4493-5

GOLDBERGER, Paul (1989)

The skyscraper.

Ed. Alfred A. Knopf, New York, 1989. ISBN: 0-394-71586-1

HAMZAH T.R. & YEANG SDN. BHD (1994)

Bioclimatic skyscrapers.

Ed. Ellipsis, London, 1994. ISBN: 1-899858-70-9

HÖWELER, Eric (2003)

Skyscraper: Designs of the recent past and for the near future.

Ed. Thames & Hudson, London, 2003. ISBN: 0-500-28446-6

HUXTABLE, Ada Louise (1988)

El rascacielos: la búsqueda de un estilo.

Ed. Nerea, Madrid, 1988. ISBN: 84-86763-02-9

LE CORBUSIER (1987)

Le Corbusier: rascacielos: catálogo de la exposición celebrada en Madrid, enero - febrero de 1987.

Ed. Ayuntamiento de Madrid, Área de Urbanismo e Infraestructuras. Madrid, 1987. ISBN: 8450548411.

MAFFIOLETTI, Serena (1990)

La città verticale: il grattacielo, ruolo urbano e composizione.

Ed. Cluva Università, Venezia, 1990. ISBN: 88-85067-73-5

MARJANOVIC, Igor (2010)

Marina City: Bertrand Goldberg's urban vision.

Ed. Princeton Architectural Press, New York, 2010. ISBN: 978-1-56898-863-4

MINGO PINACHO, Gerardo (2010)

Vertical density: concepts behind any high-rise event.

Ed. Future Arquitecturas, Madrid, 2010. ISBN: 978-84-614-2699-7

NIETO, Nuria (2003)

Arquitectos de rascacielos.

Ed. Atrium Group, Barcelona, 2003. ISBN: 84-96099-05-9

POWELL, Roberto (1999)

Rethinking the skyscraper: the complete architecture of Ken Yeang.

Ed. Thames & Hudson, London, 1999. ISBN: 0-500-28155-6

RICHARDS, Ivor (2007)

Ken Yeang: Eco skyscrapers.

Ed. Images Publishing, Mulgrave, 2007. ISBN: 9781864702682

YEANG, Ken (1996)

The skyscraper bioclimatically considered: a design primer.

Ed. Academy, London, 1996. ISBN: 1-85490-431-0

YEANG, Ken (2002)

Reinventing the skyscraper: a vertical theory of urban design.

Ed. Wiley-Academy, Chichester, 2002. ISBN: 0-470-84355-1

YEANG, Ken (2011)

Eco skyscrapers, Vol 2.

Ed. Images Publishing, Mulgrave, 2011. ISBN: 9-781864-703870

YOON, Jeannie Meejin (2000)

1001 skyscrapers.

Princeton Architectural Press, New York, 2000. ISBN: 1-56989-229-1

ZUKOWSKY, John (2000)

Skyscrapers : The New Millenium.

Ed. Prestel, Munich, 2000. ISBN: 3-7913-2343-1

9.4 BIBLIOGRAFIA WEB.

BEST FACADE

www.bestfacade.com

CÁMARA DE COMERCIO DE MADRID

www.camaramadrid.es

CHICAGO CLIMATE ACTION PLAN

www.chicagoclimateaction.org

COOK AND FOX ARCHITECTS

www.cookplusfox.com

CTE. CODIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

www.codigotecnico.org

CUBIERTAS ECOLÓGICAS TIPO ALJIBE MODELO INTEMPER

www.intemper.es

DIRECTRIZ FLL PARA LA PLANIFICACIÓN, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE FACHADAS VEGETALES

www.f-l-l.de

ICAEN. INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA

www.icaen.net

IDAE. INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO DE ENERGÍA.

www.idae.es

ILUMINACIÓN ERCO

www.ercos.es

INE. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA

www.ine.es

ITEC. INSTITUT DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓ DE CATALUNYA

www.itec.cat

OMS. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.

www.who.int/es/

RASCACIELOS DE TODO EL MUNDO

www.skyscraperpage.com

RASCACIELOS WORLD TRADE CENTER BAHRAIN

www.bahrainwtc.com

UNIVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA

www.upc.es