



Universidad de Valladolid



PROGRAMA DE DOCTORADO EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA ENERGÉTICA

TESIS DOCTORAL:

**DISEÑO Y ESTUDIO ENERGÉTICO DE UN
EDIFICIO NZEB (NEAR ZERO ENERGY
BUILDING). PLANTEAMIENTOS DE
SOSTENIBILIDAD**

Presentada por Francisco J. Valbuena García. para
optar al grado de
Doctor/a por la Universidad de Valladolid

Dirigida por:
D. Francisco Javier Rey Martínez
D. Eloy Velasco Gómez

A mi mujer y a mis hijos.
Por haber cedido su tiempo, y
por su apoyo y su paciencia.

DISEÑO Y ESTUDIO ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO NZEB (NEAR ZERO ENERGY BUILDING).
PLANTEAMIENTOS DE SOSTENIBILIDAD

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a todos los técnicos que han colaborado conmigo en la realización del proyecto y dirección de las obras para la construcción del Edificio LUCIA, y con los que compartí los análisis y las valoraciones de las que tanto aprendí, y a la Universidad de Valladolid por la confianza en nuestras posibilidades.

A D. Francisco Javier Rey Martínez por haber accedido a dirigirme la tesis y a D. Eloy Velasco Gómez, por haberme transmitido la metodología de trabajo, y por sus continuas sugerencias.

Un agradecimiento especial a D. Borja Román, a D. Sergio Lorenzo González, y Dña. Cristina Cano por sus total colaboración en el proceso de análisis y desarrollo de los modelos de simulación, y a Dña. María Jesús González y Dña. Cristina Gutiérrez por sus continuas aportaciones.

A toda mi familia por su apoyo constante, y a mis compañeros Rafael Conchi y Mercedes por sus palabras siempre de ánimo.

DISEÑO Y ESTUDIO ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO NZEB (NEAR ZERO ENERGY BUILDING).
PLANTEAMIENTOS DE SOSTENIBILIDAD

RESUMEN

Los edificios en la actualidad consumen casi la mitad de toda la energía que se produce en el planeta y, por tanto, son responsables del 36% de las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera. Si a esto se une el aumento de población esperado, las necesidades de los países emergentes en cuanto a nuevas edificaciones, y que cada vez exigimos más equipamiento y confort en nuestro entorno construido, las previsiones de consumo de energía y emisiones de CO₂ se multiplican de forma alarmante para las próximas décadas.

Por esto, en los últimos años los informes de los organismos internacionales que estudian las cuestiones ambientales, económicas e incluso sociales, (las tres dimensiones de la sostenibilidad) identifican al sector de la construcción como el que tiene un mayor potencial para la lucha contra el cambio climático.

Para hacer frente a esta situación, se viene desarrollando mundialmente el concepto de Edificios de energía cero, cero neta o casi nula; se trata de edificios que mediante el diseño adaptado al clima del lugar, la orientación, el aislamiento, la iluminación natural, etc., consiguen disminuir notablemente la demanda de energía utilizada para calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria e iluminación; ajustar al mínimo el consumo mediante sistemas activos eficientes; e incorporar, por último, la auto producción de energía mediante renovables.

Esto, que en concepto está bastante definido, plantea varios problemas: cuándo, dónde y cómo se consigue el neto cero; cuánta es la cantidad de energía que se considera casi nula para cada clima y tipo de edificio, y qué porcentaje de esta energía puede generarse con energías renovables en el propio edificio o cerca, ya sea fotovoltaica, eólica, del terreno, biomasa...

El objeto de la tesis es, a través del estudio de caso del Edificio LUCIA, que tiene una alta calificación en sostenibilidad mediante las certificaciones LEED y VERDE^{GBCe}, comprobar cómo los planteamientos de los edificios "sostenibles" no sólo consiguen un mejor rendimiento energético, y por tanto alcanzan el objetivo de consumo de energía casi nulo y bajas emisiones de carbono, sino que también permiten abordar aspectos fundamentales como:

- La mejora de las condiciones interiores mediante una alta calidad del ambiente interior (ventilación y calidad de aire, confort térmico, acústico y visual) que influyen sobre el bienestar y la salud, ya que, de media, pasamos cerca del 90% de nuestro tiempo en entornos construidos.
- El resto de consumo de energía del ciclo de vida del edificio, desde la fabricación de los productos y materiales utilizados hasta la futura deconstrucción y reutilización y reciclado de materiales, favoreciendo la economía circular ya que, por ejemplo, la construcción y uso de los edificios en la UE suponen el 50% de todos los materiales extraídos y el 35% del total de los residuos generados.
- La gestión responsable y el uso eficiente del agua, mediante la reducción del consumo de agua potable, la captación de agua de lluvia y la reutilización de aguas grises, evitando además el gasto energético necesario para la potabilización y la depuración. La construcción y uso de los edificios suponen más del 30% del consumo de agua.

ABSTRACT

Buildings currently consume nearly half of the global energy produced in the planet and so, generate 36% of global GHG emissions. The energy consumption forecast and CO₂ emissions will become multiplied at an alarming rate along the coming decades if we add to that the increasingly population growth, the requirement of new buildings for emerging countries and our growing demands of more equipment and comfort in our built environment.

That is why the reports from international institutions that analyse environmental issues as well as economic and social (the three dimensions of sustainability) over the past few years, identify construction sector as the industry with the greatest potential for fighting climate change.

To face this challenge the concept of Zero-Energy Building (ZEB) is being worldwide developed, also known as Net Zero Energy Building (NZEB). These buildings achieve a significant decrease in energy demand for heating, ventilation, and air conditioning (HVAC), domestic hot water and lightning. This is achieved through diverse strategies, such as design adapted to local climate conditions and orientation, insulation, improving natural lighting, adjusting the energy consumption to minimum through efficient active systems and, and eventually introducing self-production energy from renewable energy system.

This concept is quite defined, nevertheless raises diverse problems such as when, where, and how to achieve this NZEB; what does the amount of energy consider net zero according the typology of the building and the climate of the place; what is the proportion of renewable energy produced on the building itself or surroundings, whatever photovoltaic, by wind, geothermal or by biomass.

The aim of this thesis is to verify how the approaches to "sustainable" buildings not only achieve the best energy performances, reaching the goal of NZEB and low carbon emissions, but they also allow addressing fundamental aspects of sustainability. The LUCIA building (highly qualified on sustainability with LEED and VERDE-^{GBCe} rating systems) is the case study by the thesis is developed. The other aspects considered are:

- The improvement of internal atmosphere through high Indoor Environmental Quality (IEQ) (ventilation and air quality, thermal, acoustic and visual, which effects on health and well-being, since we live on average about 90% in built environments.
- The embodied energy of the whole building's life cycle, from manufacturing to future deconstruction, reuse and recycling of product and construction materials, promoting the circular economy, since construction and use of buildings summarize the 50% of all the materials extracted in EU and 35% of total waste generated.
- Responsible management and efficient use of water, by reducing the use of drinking water, promoting rainwater harvesting and system and reusing grey water. That avoiding the demand of energy consumption necessary to purify and treatment of wastewater. The construction and use of buildings account for more than 30% of water consumption.

ÍNDICE

PROPUESTA DE OBJETIVOS	9
ESTRUCTURA DE LA TESIS	11
1 Introducción, 40 años tras la eficiencia energética	13
1.1 Alcanzar los beneficios globales de la eficiencia energética.....	13
1.2 La eficiencia energética en las políticas nacionales o territoriales.....	20
1.3 Los modelos de financiación	23
1.4 Análisis del avance en eficiencia energética	27
Referencias	31
2 La eficiencia energética en el sector de la construcción	35
2.1 Los edificios como factor estratégico en la reducción del uso de energía y de emisiones.....	35
2.2 Las especiales características de la industria de la construcción	38
2.3 La colaboración internacional.....	40
2.3.1 <i>Garantizar la seguridad del suministro de energía</i>	41
2.3.2 <i>Cooperación para la acción global</i>	43
2.3.3 <i>El desafío para un desarrollo sostenible</i>	52
Referencias.....	66
3 El papel de los edificios en la política energética en la Unión Europea.....	73
3.1 Primeros intentos de política comunitaria: El consumo racional de energía ...	73
3.2 Integración de la política ambiental en la política energética	77
3.3 Política energética europea a corto plazo (2020)	78
3.4 Política energética europea a largo plazo (2050),.....	80
3.5 Política energética europea, objetivos intermedios (2030),	82
3.6 La formulación de políticas	86
3.7 La Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios (EPBD- Energy Performance Building Directive 2002).....	87
3.7.1 La refundición de la Directiva (EPBD 2010).....	88
3.7.2 Modificación de la Directiva (EPBD 2018).....	92
3.8 Edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB).....	93
3.8.1 Revisión de definiciones y métodos de cálculo.....	94
3.8.1.1 Unidad de medida del balance energético.....	94
3.8.1.2 Sistema de contabilización.....	95
3.8.1.3 Periodo de tiempo del balance energético	96
3.8.1.4 Tipo de balance energético.....	97
3.8.1.5 Opciones de suministro de energía renovable.....	97
3.8.1.6 Conexión con la infraestructura energética	98
3.8.2 Requisitos	99

3.8.2.1	Requisitos de eficiencia energética	99
3.8.2.2	Requisitos del ambiente interior.....	100
3.8.2.3	Requisitos de la interacción edificio-red	101
3.8.2.4	Características comunes del nZEB	101
3.9	El camino hacia una sostenibilidad efectiva en el sector de la construcción ..	102
3.9.1	Calidad de ambiente interior (IEQ - Indoor Environmental Quality)	103
3.9.2	Uso eficiente de los recursos	103
3.9.3	<i>Marco</i> común para mejorar la sostenibilidad de los edificios: Level(s)	104
Referencias	105
4	La sostenibilidad para el diseño de edificios.....	111
4.1	Estudio de caso: El edificio LUCIA. Edificio para Lanzadera Universitaria de Centros de Investigación Aplicada de la Universidad de Valladolid.....	113
4.2	Descripción general	115
4.2.1	Diseño bioclimático.....	117
4.2.1.1	Adaptación al entorno y clima local.....	117
4.2.1.2	Gestión ambiental de la urbanización exterior	118
4.2.1.3	Efecto isla de calor.....	119
4.2.1.4	Compacidad.	120
4.2.1.5	Diseño y forma de la fachada. Orientación	121
4.2.1.6	Envolvente.....	122
4.2.1.7	Elevado aislamiento térmico.....	122
4.2.1.8	Luz natural y confort visual	126
4.2.1.9	Ventilación natural	130
4.2.2	Energías renovables	131
4.2.2.1	Geotérmica.....	132
4.2.2.2	Fotovoltaica.....	136
4.2.2.3	. Biomasa	143
4.2.3	Mejora de la eficiencia de los sistemas.....	145
4.2.3.1	Control de la iluminación	145
4.2.3.2	Climatizador de aire primario	146
4.2.3.3	Distribución de agua calentada y enfriada.....	147
4.2.3.4	Producción de agua calentada y enfriada.	149
4.2.3.5	Unidades terminales: Sistema de FanCoils.....	150
4.2.3.6	Control.....	151
4.2.4	Otras estrategias de sostenibilidad.....	151
4.2.4.1	Gestión del ciclo del agua.....	151
4.2.4.2	Selección de materiales de construcción	153
4.2.4.3	Gestión de residuos.....	153
4.2.4.4	Accesibilidad universal.....	154

4.2.4.5	Formativo.....	155
	Referencias.....	156
5	Simulaciones y evaluación de resultados	159
5.1	Introducción	159
5.2	Modelización energética.....	161
5.2.1	Software de modelización	161
5.2.2	Datos de partida de las modelizaciones	161
5.2.2.1	Características comunes de todos los modelos.....	162
5.2.2.2	Metodología de introducción de datos	167
5.2.3	Introducción de datos para la modelización del edificio LUCIA	168
5.2.3.1	Principales características constructivas.....	168
5.2.3.2	Características del sistema de climatización.....	170
5.2.3.3	Características de los pozos geotérmicos tierra-aire.....	172
5.2.3.4	Sistemas no modelizados.....	173
5.2.4	Introducción de datos para la modelización del edificio de referencia para la normativa española CTE	174
5.2.5	Resultados finales de los modelos simulados.....	175
5.2.5.1	Modelo 1: Edificio objeto (Edificio LUCIA zigzag)	175
5.2.5.2	Modelo 2: Edificio de referencia CTE zigzag	176
5.2.5.3	Modelo 3: Edificio de LUCIA cuadrado	177
5.2.5.4	Modelo 4: Edificio de referencia CTE cuadrado.....	179
5.2.6	Comparativa de los cuatro modelos	180
5.2.7	Evaluación de los resultados.....	183
5.2.7.1	Comparación entre el <i>Edificio LUCIA zigzag</i> y el <i>edificio de referencia CTE zigzag</i>	183
5.2.7.2	Comparación entre el <i>edificio de referencia CTE zigzag</i> y el <i>edificio de referencia CTE cuadrado +vidrios CTE</i>	185
5.2.7.3	Comparación entre el <i>Edificio LUCIA zigzag</i> y el <i>edificio de referencia CTE cuadrado</i>	186
	Referencias.....	193
6	Conclusiones y nuevas líneas de investigación.....	195
6.1	Conclusiones	195
6.2	Nuevas líneas de investigación	197
	Anexo	199

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1	Objetivos concretos de las políticas de la UE sobre eficiencia energética hasta 2005	78
Tabla 3.2	Relación no exhaustiva de políticas relacionadas con el ahorro de energía y mitigación del cambio climático que afectan al sector de la construcción, incluidos los sistemas del edificio y los equipos.	83
Tabla 3.3	Procedimiento para el cálculo del rendimiento energético conforme a las Directrices que acompañan al Reglamento Delegado (UE) no 244/2012 que complementa la Directiva 2010/31/UE.....	90
Tabla 3.4.	Valores de referencia para energía primaria (EP) aplicables a edificios de consumo de energía casi nula según diferentes zonas climáticas de la UE.	92
Tabla 4.1	Características de los elementos del cerramiento de cubierta: espesor (e), conductividad térmica (λ) y resistencia térmica (R); y transmitancia térmica total (U)	123
Tabla 4.2	Características de los elementos del cerramiento macizo de fachada: espesor (e), conductividad térmica (λ) y resistencia térmica (R); y transmitancia térmica total (U)	124
Tabla 4.3	Comparativa de transmitancia térmica total de cerramientos opacos en la normativa de redacción del proyecto*, la actual y la del edificio LUCIA ..	124
Tabla 4.4	Comparativa de la transmitancia térmica total (U), factor solar y relación ventana-pared del cerramiento acristalado en la normativa del momento de redacción del proyecto*, la actual y la del edificio LUCIA	125
Tabla 4.5	Características generales de la instalación fotovoltaica integrada	139
Tabla 4.6	Características para cada composición fotovoltaica	139
Tabla 5.1	Producción promedio de electricidad por cada composición fotovoltaica ..	173
Tabla 5.2	Tabla resumen de los consumos de energía y emisiones del edificio LUCIA incluyendo el equipamiento	175
Tabla 5.3	Tabla resumen de los consumos de energía y emisiones del edificio LUCIA, sin el equipamiento	175
Tabla 5.4	Tabla resumen de los consumos de energía y emisiones del edificio de referencia CTE incluyendo el equipamiento	176
Tabla 5.5	Tabla resumen de los consumos de energía y emisiones del edificio de referencia CTE, sin el equipamiento	176
Tabla 5.6	Comparativa de consumos de energía final del edificio LUCIA cuadrado en función de las características del vidrio	177
Tabla 5.7	Tabla resumen de los consumos de energía y emisiones del edificio LUCIA cuadrado incluyendo el equipamiento	178
Tabla 5.8	Tabla resumen de los consumos de energía y emisiones del edificio LUCIA cuadrado, sin el equipamiento	178
Tabla 5.9	Tabla resumen de los consumos de energía y emisiones del edificio de referencia CTE cuadrado incluyendo el equipamiento	179

Tabla 5.10	Tabla resumen de los consumos de energía y emisiones del edificio de referencia CTE cuadrado, sin el equipamiento	180
Tabla 5.11	Tabla resumen comparativa de los consumos de energía y emisiones de los cuatro modelos, sin el equipamiento; y el porcentaje de cada uno de ellos en relación con el edificio de referencia CTE cuadrado (modelo 4).....	181
Tabla 5.12	Tabla comparativa de los consumos de energía primaria total y emisiones y el porcentaje de ahorro del edificio LUCIA en relación con el edificio de referencia CTE zigzag.	184
Tabla 5.13	Tabla comparativa de los consumos de energía primaria total y emisiones, y el porcentaje de ahorro del edificio de referencia CTE zigzag en relación con el edificio de referencia CTE cuadrado + vidrios CTE.....	185
Tabla 5.14	Tabla comparativa de los consumos de energía primaria total y emisiones y el porcentaje de ahorro del edificio LUCIA en relación con el edificio de referencia CTE cuadrado.....	186
Tabla 5.15	Tabla comparativa de la diferencia del porcentaje de ahorro de energía primaria total (%) y emisiones (%) del edificio LUCIA en relación con el edificio de referencia CTE zigzag y el edificio de referencia CTE cuadrado.	187
Tabla 5.16	Tabla comparativa de consumos de energía primaria total y emisiones, y el porcentaje de ahorro del edificio LUCIA en relación con el edificio de referencia CTE cuadrado + vidrios, incluyendo la producción fotovoltaica .	188
Tabla 5.17	Tabla comparativa de la diferencia del porcentaje de ahorro de energía primaria total (%) y emisiones (%) del edificio LUCIA en relación con el edificio de referencia CTE zigzag y el edificio de referencia CTE cuadrado ..	190
Tabla 5.19	Consumo mensual de electricidad estimado en la simulación.....	191
Tabla 5.20	Comparativa entre las tabla 5.18 y 5.19	191

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Múltiples beneficios de la eficiencia energética	15
Figura 1. 2 SE4ALL, Objetivo 2: Mejorar la eficiencia energética.....	17
Figura 1.3 Trilema	22
Figura 1. 4 Ilustración de la IEA sobre el aumento de las inversiones en eficiencia energética necesarias bajo su escenario 450 [18]	23
Figura 1.5 Esquema del PF4EE (Private Finance for Energy Efficiency)	26
Figura 2.1 Participación de los edificios en el consumo final de energía en la UE-28	36
Figura 2.2 Cambio a nivel global en la superficie del piso, población, uso final de energía del sector de edificaciones y emisiones relacionadas con energía, 2010-2018	37
Figura 2.3 Partes interesadas involucradas en el proceso de edificación	40
Figura 2.4. Potencial de mitigación económica por sectores en 2030 estimado en función del precio del carbono (por debajo de 20, menos de 50 y menos de 100 USD/tonCO ₂ eq).....	47
Figura 2.5. Uso de energía térmica en el sector global de la construcción para diferentes escenarios proyectados por diferentes modelos	54
Figura 2.6. Esquema de funcionamiento de la base de datos SBN	56
Figura 2.7. Ejemplo de la organización del esquema de la hoja de ruta para edificios de nueva construcción	61
Figura 2.8. Infografía del WorldGBC con la información clave del proyecto global	65
Figura 4.1 El concepto holístico de un “edificio eficiente”	112
Figura 4.2 Fachada Sur del edificio LUCIA.....	114
Figura 4.3 Distribución por plantas del edificio LUCIA.....	115
Figura 4.4 Esquema 3D de la distribución en planta del edificio LUCIA	116
Figura 4.5 Esquema de ubicación e influencia del soleamiento y vientos dominantes.....	117
Figura 4.6 Vista del pavimento drenante de la planta de aparcamiento	118
Figura 4.7 Vista de la cubierta verde y la zona ajardinada circundante 20.....	119
Figura 4.8 Vista de la cubierta verde y la zona ajardinada circundante 21.....	120
Figura 4.9 La reorientación de los huecos: permite que el edificio “cierre” sus fachadas hacia el Norte (a), y las “abra” completamente hacia el Sur mientras se autosombrea (b)22.....	121
Figura 4.10 Aislamientos de la parte maciza de la envolvente: (a) sobre forjado de planta baja, (b) sobre forjado de cubierta, (c) tras los bloques prefabricados de hormigón de fachada	123
Figura 4.11 Detalle constructivo de la continuidad de aislamiento y carpintería para evitar puentes térmicos	126
Figura 4.12 Esquemas de ganancia de luz natural en los espacio de trabajo	127
Figura 4.13 Comparativa de las ganancias solares evitadas por girar la fachada en relación con una disposición similar con la fachada recta	127

Figura 4.14 Fachada Oeste. El sol incide plenamente sobre la parte ‘recta’ de la fachada, mientras las ventanas giradas están sombreadas	128
Figura 4.15 Pozos de luz. (a) Captadores exteriores de luz natural. (b) Aportación de luz natural al interior del laboratorio.....	129
Figura 4.16 Esquema del sistema de ventilación nocturna	130
Figura 4.17 Esquema del sistema de ventilación nocturna	131
Figura 4.18 Esquemas de funcionamiento de los pozos canadienses en invierno y en verano	132
Figura 4.19 Diferentes fases de la construcción de los pozos canadienses:.....	133
Figura 4.20 Lucernarios sobre las escaleras: (a) Sur, (b) Norte	137
Figura 4.21 Composición del vidrio triple fotovoltaico.....	138
Figura 4.22 Kg de CO ₂ ahorrados por cada composición fotovoltaica.....	140
Figura 4.23 Muro de doble piel: (a) cámara interior, (b) vista exterior	140
Figura 4.24 Análisis del comportamiento de la fachada de doble piel fotovoltaica.....	141
Figura 4.25 Vista de la sala de caldera auxiliar	144
Figura 4.26 Esquema de conexión del sistema de control de iluminación.....	145
Figura 4.27 Esquema de funcionamiento del climatizador	146
Figura 4.28 Esquema de funcionamiento de la producción de calor	147
Figura 4.29 Esquema de funcionamiento de la producción de frío	148
Figura 4.30 Vista de la sala del climatizador	149
Figura 4.31 Vista de la sala de tratamiento de aguas grises, y de la sala de tratamiento de aguas de laboratorios	152
Figura 4.32 esquema general de la gestión del ciclo del agua.....	152
Figura 4.33 Forrado cerámico fotocatalítico en los petos de la cubierta	153
Figura 4.34 Esquema de flujos de energía, materiales, etc. del edificio	154
Figura 4.35 Diferentes actos de formación e información sobre el edificio LUCIA	155
Figura 5.1 Imágenes del edificio LUCIA zigzag y el edificio LUCIA cuadrado	160
Figura 5.2 Entrada en el modelo de los datos en porcentaje de ocupación respecto del máximo, en cada tramo horario.	162
Figura 5.3 Entrada en el modelo de datos en porcentaje de iluminación encendida del edificio respecto del máximo, en cada tramo horario.....	163
Figura 5.4 Entrada en el modelo de datos en porcentaje del de uso de equipos del edificio respecto del máximo, en cada tramo horario	164
Figura 5.5 Permiso de funcionamiento de los sistemas de climatización por horarios.	165
Figure 5.6 Datos climatológicos locales considerados en la simulación	166
Figura 5.7 Esquema de control de iluminación natural (regulación).....	167
Figura 5.8 Ejemplo de programación de zona a efectos de comportamiento térmico	167
Figura 5.9 Esquema de control de iluminación	168

Figura 5.10 La modelización del edificio incluye la forma en zigzag de las fachadas este y oeste, y las protecciones solares de las ventanas.	169
Figura 5.11 En la imagen se aprecia la zonificación realizada en los sistemas de tubería para alimentar a los FanCoils y la UTA de aire primario.....	170
Figura 5.12 En la imagen se aprecia la forma de simular una UTA de aire primario con free cooling y recuperación de calor, y FanCoils de zona	171
Figura 5.13 a. Recuperación del EAHX por meses; b. Horas de funcionamiento del EAHX por meses	172
Figura 5.14 Gráfico del funcionamiento de los pozos simulado en el software	173
Figura 5.15 Comparativa de los consumos de energía primaria no renovable	182
Figura 5.16 Comparativa de emisiones de CO ₂	183
Figura 5.17 Comparativa de energía primaria no renovable	189
Figura 5.18 Comparativa de usos de energía en los cuatro modelos	190
Figura 6.1 Comparación del consumo de energía primaria no renovable de los modelos ‘cuadrados’, entre sí y en relación con los límites de consumo para oficinas según la Recomendación (UE) 2016/1318 y con los niveles definido en el CTE para uso distinto del residencial privado	197

PROPUESTA DE OBJETIVOS

El objetivo fundamental de la presente tesis es mostrar cómo se pueden alcanzar los objetivos establecidos en los acuerdos internacionales para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero y realizar la transición hacia la economía circular baja en carbono en el entorno construido. El uso de criterios de sostenibilidad permite afrontar estos objetivos no sólo en términos mayor rendimiento energético, sino también de la eficiencia global de los recursos y los ecosistemas. Por tanto, este trabajo de investigación mostrará:

- Cómo minimizar el consumo de energía y las emisiones de CO₂ de los edificios mediante la utilización de estrategias combinadas de eficiencia y uso de energías renovables locales que contribuyen a la descentralización energética.
- La necesidad de la evaluación a lo largo de todo su ciclo de vida para actuar también sobre la energía incorporada¹.
- La importancia del diseño pasivo para la reducción efectiva de la demanda de energía.
- La influencia del entorno (vegetación y/o edificaciones próximas, soleamiento, vientos dominantes...) y las condiciones climáticas en las decisiones de diseño.
- Cómo integrar de manera eficiente los sistemas técnicos y el control avanzado, para que sólo se produzca la energía necesaria en cada momento.
- Los requerimientos para una adecuada ventilación que garantice la calidad de aire interior, aspecto que muestra su relevancia con la actual pandemia de COVID-19.
- La relación entre de la calidad de ambiente interior (calidad del aire y confort térmico, acústico y visual) y la salud, el bienestar y la productividad.

¹ La energía utilizada para la extracción, transformación, fabricación y transporte de los materiales de construcción, y la energía que se consume durante la construcción, la renovación y el desmantelamiento de los edificios

- Los potenciales ahorros de energía en comparación con el ahorro esperado mediante simulaciones dinámicas que permitan el tratamiento integrado de todas las estrategias y sistemas utilizados en el edificio
- Los diferentes enfoques que se pueden dar con los edificios de referencia.
- La evolución del actual Código Técnico de la Edificación en la última década.

En definitiva, ejemplificar los beneficios y la viabilidad de edificios de alto rendimiento, técnica y económicamente viables, con las tecnologías actuales; y profundizar en las dimensiones de la sostenibilidad, que permita el intercambio efectivo de conocimiento y aumente el nivel de conciencia de la práctica entre las partes interesadas.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

La presente tesis se estructura en seis capítulos.

El capítulo 1 explica brevemente el aumento de la importancia y los beneficios de la eficiencia energética en las últimas cuatro décadas. Desde sus inicios, a finales de los años 70, como factor clave para la independencia y seguridad energética en el ámbito nacional; hasta la actualidad, como factor clave para mitigar los efectos del cambio climático y conseguir los objetivos de desarrollo sostenible a nivel mundial. También se exponen algunas de las principales barreras que han obstaculizado sistemáticamente el avance hacia dichos objetivos.

El capítulo 2 analiza la influencia del sector de la construcción, uno de los más intensivos en el uso de energía, y sus especiales características, que ralentizan el avance hacia los diferentes objetivos expuestos en el capítulo anterior. Dentro del marco evolutivo, en un primer lugar, se examinan las políticas iniciales, destinadas a la seguridad del suministro de energía, limitadas a determinados ámbitos regionales o estratégicos y que contemplaban únicamente los componentes individuales del edificio. También se valoran las que, más adelante, incluyeron los problemas ambientales, que precisaron soluciones globales que debían resolverse de manera colaborativa en el ámbito internacional e incorporaban requisitos de diseño integrado, enfoque holístico e integración de renovables. Finalmente se analizan los actuales planteamientos de sostenibilidad, que añaden a los anteriores los requisitos de salud y uso racional de los recursos, incentivándose más desde el ámbito local.

Este análisis se estructura en dos partes: la primera hasta finales del 2010, que pone en contexto la situación en la que se realizó el proyecto del LUCIA, objeto del caso de estudio y, la segunda, con la evolución desde el 2011 hasta la actualidad.

El capítulo 3 tiene como objetivo poner de manifiesto la aplicación en la Unión Europea de los avances y acuerdos internacionales sobre la eficiencia energética en los edificios y, por otra parte, la dificultad de la puesta en marcha de las políticas adecuadas establecidas en los capítulos anteriores.

Circunstancias que se desarrollan también hasta finales de 2010, momento en el que se publica la refundición de la «Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios» y sus requisitos para los *edificios de consumo de energía casi nula*. En este contexto se revisa brevemente la prolija elaboración de políticas y los progresos hacia los objetivos de los edificios de cero emisiones y los edificios inteligentes capaces de gestionar la demanda (microcentros de energía que consumen, producen, almacenan y suministran energía).

El capítulo 4 define los planteamientos del diseño del Edificio LUCIA como ejemplo práctico, de acuerdo a los estudios efectuados de la literatura científica y los instrumentos de política desarrollados en los capítulos precedentes: diseño integrado, reducción de las necesidades de energía mediante los principios de diseño bioclimático y pasivo, planteamiento de sistemas técnicos de alto rendimiento, gestión y control avanzados e integración de fuentes de energía renovables. Esta exposición sistematiza, desde una perspectiva sostenible que abarca toda la vida útil del edificio, lo que significa buscar la mayor eficiencia energética posible respetando el entorno, los ambientes interiores saludables, la selección de materiales (locales, reciclados y reciclables, sin compuestos orgánicos volátiles, etc.), la gestión del uso del agua, los menores costos de operación, la accesibilidad universal y la mejor adaptabilidad y resiliencia.

El capítulo 5 muestra los resultados obtenidos de la aplicación de las diferentes estrategias de diseño mediante la realización de una simulación dinámica compleja de diferentes modelos. Se comprueban los ahorros derivados del aumento del aislamiento, de la orientación y de la eficiencia de los sistemas instalados; la importancia de la refrigeración en los edificios con altas cargas internas y en general para los edificios del sur de Europa; la importancia del consumo de energía para la ventilación y la iluminación en los edificios del sector terciario; y la dificultad de definir correctamente los edificios de referencia para que la certificación energética defina realmente el rendimiento de los edificios.

El capítulo 6 presenta las conclusiones obtenidas y se avanza cuáles podrían ser los siguientes pasos a analizar en un futuro.

1 Introducción, 40 años tras la eficiencia energética

1.1 Alcanzar los beneficios globales de la eficiencia energética

Tras las crisis del petróleo de los años 1973 y 1979, las preocupaciones sobre la seguridad del suministro y el alto precio del combustible hicieron de la eficiencia energética el objetivo principal de la política, que se centró básicamente en el ahorro de energía desde la lógica de que el crecimiento económico está vinculado al incremento del consumo de energía y de los recursos naturales. Esta situación no permitió entonces estimar el valor total de la eficiencia energética tanto en las economías nacionales como en la global, y más aún en el sector de la construcción. Por ejemplo, la Resolución del Consejo de las Comunidades Europeas, de 17 de diciembre de 1974, relativa al programa de acción comunitaria en el ámbito del uso racional de la energía, establecía que:

“Considerando que un uso más racional de la energía tiende a mejorar el rendimiento energético mediante la reducción de las pérdidas y la eliminación progresiva del consumo no útil;...

1. Hace suyo el objetivo de una reducción de la tasa de crecimiento medio a largo plazo del consumo de energía para el conjunto de la Comunidad tal que, para 1985, se alcance un nivel de consumo un 15% inferior al previsto para esta fecha en las perspectivas iniciales de la Comisión establecidas en enero de 1973, teniendo en cuenta el hecho de que esta cifra podrá ser diferente en función de la situación particular de cada Estado miembro;”

Sin embargo, en los últimos años, además del uso racional y eficiente de la energía como prioridad política creciente en todo el mundo, también se valoran las mejoras en la eficiencia energética por los otros beneficios que van más allá del mero ahorro de energía:

- Es ampliamente reconocida como el medio más rentable y de fácil acceso para la mejora de la sostenibilidad del sistema energético.
- Se mantiene como la base, junto con las energías procedentes de fuentes renovables, para poder alcanzar la seguridad de abastecimiento, reduciendo la dependencia energética.
- Es clave en el apoyo a los objetivos estratégicos para el desarrollo social y económico frente a las incertidumbres e inestabilidad creadas por las fluctuaciones de los precios de la energía.

- Es imprescindible para alcanzar los objetivos ambientales contra el cambio climático.
- Contribuye a la penetración y el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente los relacionados con la salud, el entorno construido, la productividad y la acción climática.
- Es una oportunidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y favorecer la transición hacia una energía limpia.
- Simultáneamente aumenta la competitividad y la prosperidad de las empresas y los consumidores al introducir innovación tecnológica, que contribuirá a mejorar la rentabilidad de la empresa a largo plazo, ofreciendo oportunidades de empleo y desarrollo regional.

Estos beneficios han sido ampliamente estudiados por muchos gobiernos, organismos nacionales e internacionales, organizaciones de la industria, grupos académicos y organizaciones no gubernamentales de todo el mundo. Desde la década de 1970, se han utilizado muchos enfoques para aumentar la eficiencia energética en todos los sectores y en muy distintas circunstancias económicas, sociales y políticas, con algunos resultados notables y mucha información respecto a lo que funciona y a lo que no.²

De todos estos informes y estudios destacan los de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, International Energy Agency) [2] que durante muchos años ha liderado un movimiento global hacia una mayor eficiencia en el ámbito de la seguridad energética, de modo que se garantice la disponibilidad ininterrumpida de energía a un precio asequible. En sus informes anuales *World Energy Outlook (WEO)* [W1], ofrece “*evaluaciones del potencial global de la eficiencia energética, asequible y alcanzable de forma rentable, mostrando su contribución al cambio de uso de la energía*

² La Evaluación Energética Mundial (GEA - Global Energy Assessment) reunió en 2006 a más de 300 investigadores internacionales para proporcionar un análisis independiente, científico, integrado y relevante para las políticas sobre problemas y opciones energéticas actuales y emergentes. Su trabajo durante 6 años dio como resultado un informe [1] que evalúa todos los desafíos energéticos y de desarrollo que enfrenta el mundo, con gran cantidad de alternativas energéticas, destacando cómo las decisiones tomadas hoy afectarán a los sectores relacionados con la energía en el futuro, entre otros, el desarrollo económico, la salud humana y el clima global.

necesario para limitar tanto el aumento de la temperatura global, como las dependencias mundiales de los combustibles fósiles”

En otros informes como el publicado en octubre de 2013 y con el título *"From hidden fuel to world's first fuel?"* [W2], afirma que la eficiencia energética no es solo un "combustible oculto", sino también el "primer combustible del mundo"; insistiendo en su *"potencial para apoyar el crecimiento económico, mejorar el desarrollo social, promover la sostenibilidad del medio ambiente, garantizar la seguridad del sistema de energía y ayudar a construir riqueza"*.

Más recientemente en el estudio sobre la identificación de los múltiples beneficios de la eficiencia energética [3] (figura 1.1), establece los planteamientos que puedan ayudar a los gobiernos en su toma de decisiones, insistiendo en la necesidad de la medición de los impactos de sus políticas de eficiencia energética para mejorar la comprensión de su papel en el fomento del desarrollo económico y social, facilitando un diseño que maximice los beneficios priorizados para cada país.



Aspecto clave. Un enfoque de múltiples beneficios para la eficiencia energética revela una amplia gama de posibles impactos positivos.

Figura 1.1 Múltiples beneficios de la eficiencia energética

Fuente: Datos y análisis de la IEA [3]

En este sentido, la IEA organizó a principios de 2018 un taller titulado *Beyond Energy Savings: The Multiple Benefits of Energy Efficiency* [W3] donde se analizaban las investigaciones recientes sobre los beneficios, no sólo relacionados con la macroeconomía, sino también la salud pública, evidenciando que los múltiples beneficios de la eficiencia energética continúan aumentando.

La IEA, en colaboración con otras trece agencias, y junto con el Banco Mundial y el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético (ESMAP Energy Sector Management Assistance Program) [W4], también ha coordinado la elaboración del marco necesario que impulse la consecución de los objetivos de la iniciativa Energía Sostenible para Todos (*SEforALL*) [W5], para establecer un modo de evaluar los progresos globales alcanzados en el curso de los años hasta 2030.

Esta iniciativa fue lanzada en 2011 por el Secretario General de las Naciones Unidas y estaba respaldada por una coalición de organizaciones públicas y privadas, y de la sociedad civil, y se ha visto como una ilustración de la meta de desarrollo sostenible para el sector energético tras la Conferencia Río + 20, declarando 2014-2024 como el Decenio de la Energía Sostenible para Todos, lo que subraya la importancia de las cuestiones de energía para el desarrollo sostenible y para la elaboración de la agenda de desarrollo post-2015. Actualmente es una organización independiente, con un acuerdo de relación con la ONU desde 2016 cuya misión es *“impulsar una acción más rápida hacia el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 (ODS 7), que exige el acceso universal a la energía sostenible para 2030, y el Acuerdo de París, que exige reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para limitar el calentamiento climático a menos de 2 °C”*.

En 2012 La Asamblea general de las Naciones Unidas proclamó el “Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos” con la intención de hacer que la energía sostenible para todos sea una realidad en 2030, instando a todas las partes interesadas a adoptar medidas concretas que contribuyan al logro de sus tres objetivos complementarios:

- 1) asegurar el acceso universal a los servicios energéticos modernos.
- 2) duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética (ver figura 1.2).
- 3) duplicar la cuota de las energías renovables en el conjunto de mundial de fuentes de energía.

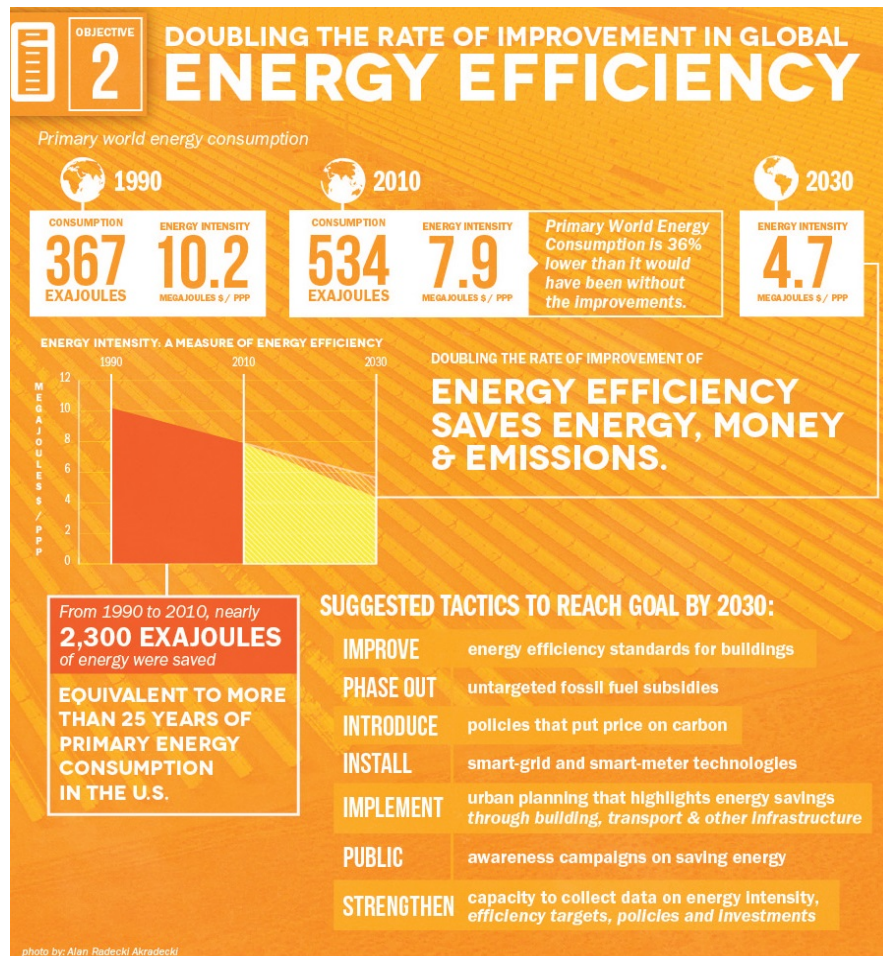


Figura 1. 2 SE4ALL, Objetivo 2: Mejorar la eficiencia energética

Fuente: <http://www.worldbank.org/en/news/feature/2013/05/28/infographic-sustainable-energy-for-all>

De estos tres objetivos, la mejora de la eficiencia energética es el que tiene el mayor impacto sobre cómo favorecer el ahorro económico, mejorar los resultados de negocio, y entregar más servicios para los consumidores.

Según el informe *Sustainable Energy for All 2013-2014: Global Tracking Framework* [4], es fundamental invertir en eficiencia para satisfacer la futura demanda creciente de energía; mejorar la seguridad energética para hacer más asequible la energía a las familias y las empresas; estimular la economía de los países permitiendo la creación de puestos de trabajo y proporcionando beneficios económicos (a través del aumento de la productividad y la reducción de los costos); y mejorar el bienestar y el confort de las personas. También permite la apertura de nuevos mercados, y al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, combate el

cambio climático y reduce los impactos de los contaminantes del aire en la salud. [5]

Para ayudar a alcanzar este objetivo, se acordó establecer una plataforma global para la acción de las múltiples partes interesadas sobre la base de "aceleradores" sectoriales que se centran en la ampliación y aceleración de los trabajos a nivel nacional, sub-nacional y municipal. Esta plataforma, denominada *Global Energy Efficiency Accelerator Platform*, está compuesta por un gran número de instituciones, empresas y gobiernos que incluyen entre otros: Accenture, Asian Development Bank, European Bank Reconstruction and Development, Inter-American Development Bank, ICLEI (Local Governments for Sustainability), International Copper Association, International Energy Agency, Johnson Controls. Philips, UNOP, UNEP, UN Foundation, World Business Council for Sustainable Development. World Bank (ESMAP). World Resources Institute

Paralelamente se identificaron algunas de las oportunidades con un alto impacto que se vinculan directamente a dicha duplicación de la tasa de mejora de la eficiencia energética global:

- Trabajar con los responsables políticos encargados de establecer las normas de rendimiento energético mínimo, tales como códigos de construcción (para edificios nuevos y existentes) y requisitos para productos y sistemas eficientes.
- Trabajar con los reguladores para fomentar la implantación de etiquetas energéticas con información fiable y fácil de entender por los consumidores para que puedan seleccionar los productos energéticamente más eficientes.
- Proporcionar asistencia especializada para apoyar técnicamente a las agencias gubernamentales que diseñan, implementan y gestionan los programas de eficiencia, así como incentivos para fomentar las transiciones a productos y procesos más eficientes energéticamente.
- Trabajar con las partes interesadas para reducir la intensidad energética de los diferentes sectores.
- Evaluar las tecnologías emergentes y las estrategias para acelerar su adopción, así como analizar las posibles barreras para su introducción.

En el mismo sentido, y dentro del marco preparatorio de la XXI Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio

Climático de 2015 (COP21/CMP11) celebrada en diciembre en París, la reunión de los ministros de Energía de los países del G7, (Estados Unidos, Francia, Alemania, Italia, Reino Unido, Japón y Canadá, excluido Rusia), celebrada en Hamburgo (Alemania) en mayo de 2015, destacaron en una resolución conjunta la apuesta por la eficiencia energética como la clave central de una estrategia futura, subrayando que un aumento de dicha eficiencia energética es decisivo para asegurar el suministro eléctrico y contribuir a la competitividad de las economías.

De acuerdo al documento aprobado [W6], el aumento de la eficiencia debe considerarse como el "generador de energía número uno" y como el camino más económico para cubrir la demanda.

Por esas fechas, el Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2015) mostraba cómo las medidas de eficiencia energética y las energías renovables son componentes esenciales de la solución a la mitigación del cambio climático. No obstante, en el reciente *"Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza"* [W7], alerta que es necesario abordar las mejoras de la eficiencia energética mediante políticas más "ambiciosas y agresivas" en el lado de la demanda, ya que son fundamentales en todas las vías de mitigación para limitar el calentamiento global a 1,5 °C.

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) [W8] también ha colaborado con la Agencia Internacional de Energía (IEA) en el informe *"Perspectives for the energy transition: Investment needs for a low-carbon energy system"* [6]. Este informe se preparó para comunicar la agenda energética y climática de 2017 de la Presidencia alemana del Grupo de los Veinte (G20), y muestra que tanto en los países del G20 como globalmente un mayor implantación de las energías renovables junto con una mayor eficiencia energética (RE/EE) *"pueden evitar los impactos más severos del cambio climático, al lograr las reducciones de las emisiones necesarias para limitar el aumento de la temperatura global a no más de 2 °C"*.

En su análisis por países, REmap 2030, efectúa conclusiones similares y "la necesidad de desplegar ambas tecnologías a fin de realizar reducciones

significativas del uso de combustibles fósiles y de emisiones de dióxido de carbono (CO₂)” [7]

1.2 La eficiencia energética en las políticas nacionales o territoriales.

Sin embargo estos beneficios no se asumen globalmente cuando se transforman en acciones o decisiones políticas, sino que cada país o región se ampara en alguno de ellos para su política energética, dentro de marcos generales, para adaptarlos básicamente a sus prioridades económicas.

La Unión Europea ha sido en la última década uno de los principales impulsores de la eficiencia energética dentro de un marco integrado de política climática y energética. Su objetivo prioritario consistía en reducir el consumo de petróleo y, en general, la dependencia de la UE de la importación de combustibles fósiles; reduciendo a su vez las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorando la seguridad energética.

Hoy en día, la política energética de la UE se dirige hacia la creación de un nuevo marco legislativo que facilite la transición energética limpia según las prioridades establecidas en su momento por la Comisión Juncker [W9], los compromisos de la UE en relación con el Acuerdo de París [W10], el paquete *Energía limpia para todos los europeos* [W11], y los objetivos de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible [W12], que han confirmado la eficiencia energética como una fuente de energía en sí misma, representada por el valor de la energía ahorrada.

El desarrollo de las diferentes estrategias y objetivos climáticos para la reducción progresiva de las emisiones de gases de efecto invernadero hasta el 2050 [W13] y las actualizaciones de las Directivas pertinentes, reconocen a la eficiencia energética como el elemento esencial y prioritario en todas las etapas de la cadena energética de la Unión. En concreto, la directiva relativa a la Eficiencia Energética [W14] establece como objetivo ambicioso para la eficiencia energética “al menos el 32,5% para 2030, a partir del actual objetivo del 20% para 2020, y medidas para su revisión en 2023, que sólo permitirán endurecerlo”.

Por su parte, en los Estados Unidos la administración Obama promovió intensamente la eficiencia energética a través del Clean Energy Ministerial [W15]; el Clean Power Plan [W16] de la Agencia de Protección Ambiental, que “... coloca a la eficiencia energética como una estrategia importante

para cumplir con los objetivos estatales. Durante años, las estrategias de eficiencia energética han sido ampliamente utilizadas por los estados porque pueden reducir de manera sustancial y rentable la demanda de energía y las emisiones de dióxido de carbono del sector energético. El Plan de Energía Limpia no solo ampliará estas prácticas, sino que también ofrece opciones flexibles de cumplimiento, que brindan a los estados una amplia gama de formas de utilizar la eficiencia energética para cumplir con sus objetivos estatales, independientemente del enfoque del plan estatal elegido.” (actualmente en revisión mediante la Orden ejecutiva sobre independencia energética EO 13783, del presidente Donald Trump, de 28 de marzo de 2017 [W17]); la negociación del acuerdo climático de París; o programas bilaterales clave, todo ello y entre otras razones, al constatar el elevado coste económico de los últimos desastres meteorológicos producidos por el cambio climático, proponiendo un plan con sus respectivas medidas de eficiencia para reducir la contaminación de carbono que provoca dicho cambio climático y que también está afectando a la salud pública. [8]

Caso similar en China [9], que ya en su 11º Plan Quinquenal (2006-2010) había establecido como objetivo nacional reducir la intensidad energética en un 20% y medidas para fortalecer la política de eficiencia energética, debido a la extrema contaminación del aire que amenaza el crecimiento económico. En este mismo sentido, el Comité Permanente de la Asamblea Popular Nacional aprobó en abril de 2014 la revisión de la ley de Protección Ambiental para, entre otras, fomentar el aumento de su eficiencia energética con el fin de reducir las emisiones y con ello los problemas de salud.

En Rusia [10, 11], sin embargo, la eficiencia energética se identificó como una de las cinco prioridades estratégicas para la modernización global de la economía, para lo cual el Decreto del presidente Medvedev de 2008 estableció como objetivo reducir la intensidad energética en un 40% para 2020 Posteriormente, para el logro de estos objetivos gubernamentales se adoptaron la Ley Federal nº 261 - FZ, "Sobre ahorro de energía y aumento de la eficiencia energética", en noviembre de 2009, y un Programa de Objetivos Estatales sobre Eficiencia Energética en 2010 "Ahorro de energía y eficiencia energética hasta 2020" [12].

Y en el caso de los países emergentes, donde el desafío es garantizar la prestación de servicios energéticos asequibles, seguros y sostenibles ante el inevitable aumento esperado en la demanda (especialmente electricidad

como condición necesaria pero no suficiente para su crecimiento económico y desarrollo), se pretende la reducción en el consumo de energía mediante la eficiencia, con poca o nula inversión (ver Figura 1.3).

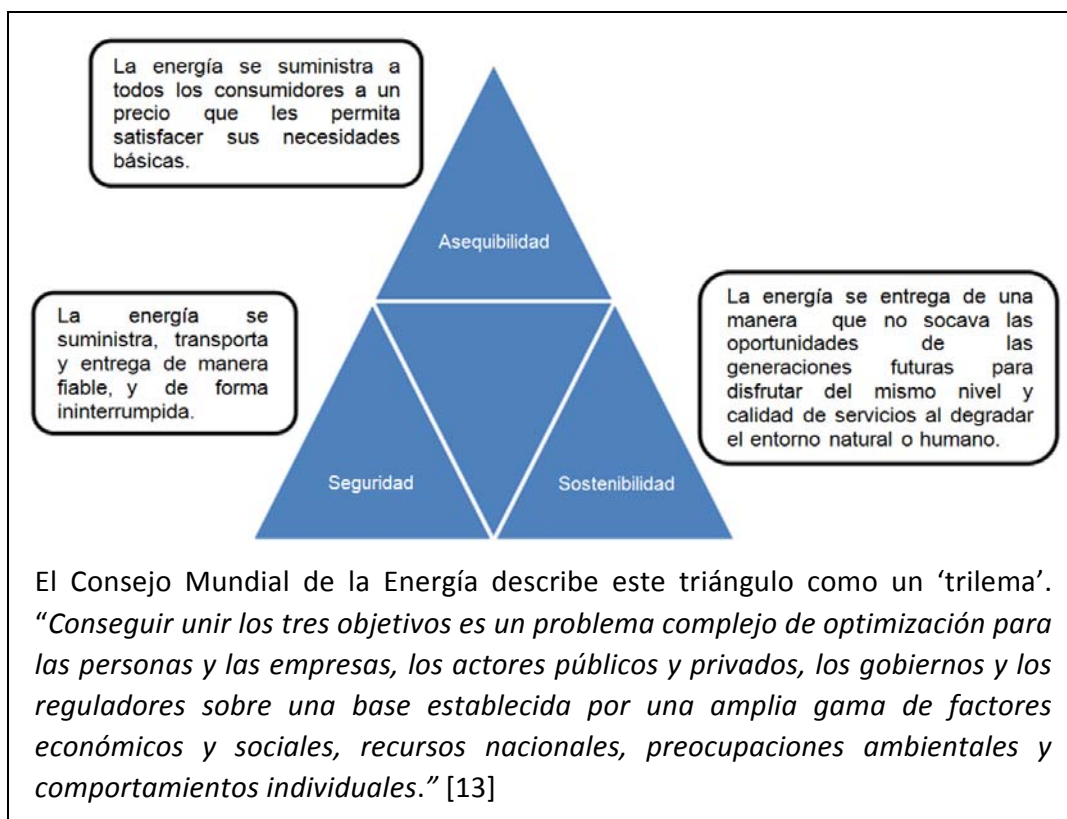


Figura 1.3 Trilema

Fuente: DOCUMENT OF THE EBRD, ENERGY SECTOR STRATEGY, December 2013

Existen multitud de actuaciones y colaboraciones que se establecen localmente para actuar globalmente, y que serían prolijas de enumerar, pero que redundan en la misma idea de identificar la eficiencia energética como factor clave para abordar el cambio climático, la transición a la energía limpia y la consecución de los ODS. Como ejemplo destacado estaría el Centro Colaborador del Medio Ambiente de las Naciones Unidas, la Alianza DTU PNUMA, en la que se integran ONU Medio Ambiente, el Ministerio de Asuntos Exteriores de Dinamarca, y la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU). En septiembre de 2013, crean el Centro de Copenhague de Eficiencia Energética (Centro de Copenhague o C2E2) para acelerar la adopción de políticas y acciones de eficiencia energética a escala mundial. [14]

1.3 Los modelos de financiación

La evidencia de todos estos beneficios ha llevado a diferentes entidades y organismos a incentivar la inversión en las medidas de eficiencia energética desde las fórmulas más tradicionales como créditos blandos (mediante tasas de interés más bajas o nulas; periodos de amortización más amplios...), desgravaciones fiscales, subvenciones, etc.; hasta la colaboración público-privada para fuentes de financiación más innovadoras, Contratos de Rendimiento Energético y a través de Empresas de Servicios Energéticos [15], programas de incentivos, bonos verdes [16], a través del comercio de carbono bajo el Régimen de Comercio de Emisiones [W18], etc.

La Agencia Internacional de la Energía considera que casi la mitad de todas las inversiones mundiales en energía requeridas para 2035, deben ser en eficiencia energética para mantenerse por debajo del límite de dos grados [17] (figura 1.4).

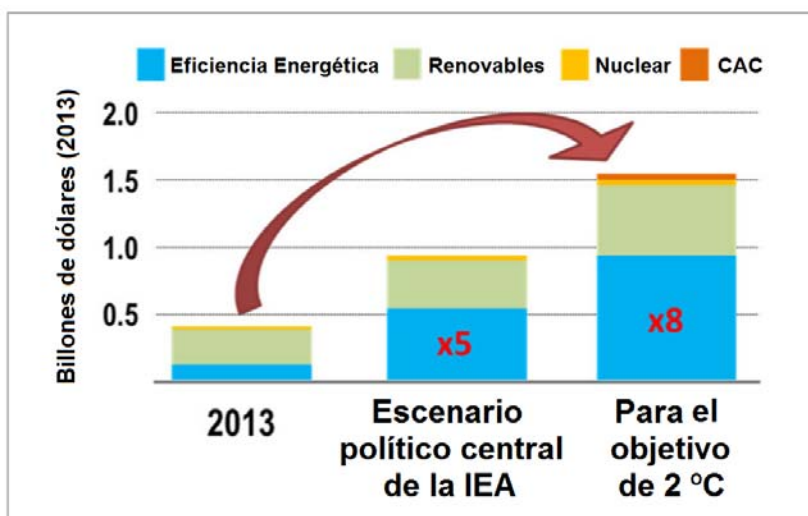


Figura 1. 4 Ilustración de la IEA sobre el aumento de las inversiones en eficiencia energética necesarias bajo su escenario 450 [18]

Fuente: EEFIG [19]

En Europa, la Comisión Europea estima que para cumplir los objetivos de eficiencia energética para 2020, las inversiones necesarias podrían sumar 100 000 millones de euros por año [20], frente a los 15-20 000 millones de euros que actualmente invierten los bancos públicos europeos.

Se ha demostrado que “las inversiones en medidas de eficiencia energética han generado rentabilidades de hasta cuatro dólares por cada dólar invertido. También que por cada dólar adicional invertido en eficiencia energética (del lado de la demanda) se pueden evitar más de 2 dólares en inversión del lado de la oferta” [21].

Es por esto que, por ejemplo, el Banco Mundial ha dirigido sus esfuerzos a incrementar la financiación destinada a proyectos de energía renovable y de eficiencia energética dando lugar a prácticas de inversión ambiental y socialmente responsables que llevaron es su momento, 2006, a la creación de los Principios de Ecuador por parte del sector de la banca privada [W19].

Incluso los grandes créditos de los bancos chinos al extranjero, tanto del Banco de Desarrollo de China (CDB) como del Banco de Exportación e Importación (Ex-Im Bank) se están concentrando en proyectos ambientalmente sensibles, incorporando paulatinamente los principios medulares de la IEA, para ajustarse a las prácticas de préstamo ambientalmente responsables establecidas internacionalmente.

Centrándonos en Europa, tras la crisis económica de 2007, la UE desarrolló una nueva Directiva sobre Eficiencia Energética que, tras unas largas, conflictivas y complicadas negociaciones, se aprobaría en 2012. Poco después, se creó el Grupo de Instituciones Financieras de Eficiencia Energética (EEFIG) para la obtención de financiación a largo plazo [19].

Dentro de este Grupo, el Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo (EBRD) [22] defendió las tesis de la Unión Europea, considerando la eficiencia energética como una fuente de energía que permite la reducción de los costes de producción y mejora la competitividad de las empresas, al tiempo que es compatible con la seguridad energética y la reducción de las emisiones de CO₂ por unidad de producción, considerándola de vital importancia para toda la economía de un país, no sólo en el sector de la energía.

Por ello, ha operado en el sector energético desde 2006; inicialmente bajo la Iniciativa de Energía Sostenible (SEI), que reunía inversiones y cooperación técnica sobre políticas tanto en el lado de la demanda, con inversiones en eficiencia industrial o en el desarrollo de códigos de construcción; como en el lado de la oferta, con financiación de parques eólicos o redes inteligentes. A partir de 2015, se redefinió bajo el enfoque de Transición de la Economía Verde (GET, Green Economy Transition) entendiendo la economía de

mercado moderna centrada en la preservación y mejora del medio ambiente. De este modo facilita inversiones innovadoras que aporten beneficios ambientales y climáticos, centrándose tanto en la sostenibilidad de la producción, generación, transmisión y distribución de energía, como en la sostenibilidad en el uso de la energía; y su intención para 2020 es alcanzar con este tipo de inversiones el 40% de su volumen anual de negocios.

Pero el EBRD también extiende líneas de crédito a instituciones financieras locales que puedan llegar a financiar medidas de eficiencia energética más pequeñas directamente a las pequeñas y medianas empresas y a los consumidores individuales finales: los *sustainable energy finance facilities* (SEFFs)

En el caso del Banco Europeo de Inversiones (BEI) [W20], la promoción de la eficiencia energética se realizó mediante un amplio volumen de préstamos depositados, que incluían préstamos marco, “disponibles bien a través de intermediarios financieros en el sector bancario o a través de poderes públicos, empresas de servicios energéticos o asociaciones público-privadas. Así mismo, proporciona financiación indirecta a proyectos de eficiencia energética a través de fondos de inversión que tienen diferente cobertura geográfica y se establecen con el sector privado y una gama de instituciones financieras internacionales.”

Para el periodo 2021-2027 un nuevo programa reemplazará al Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas (FEIE) [W21], InvestEU [W22], que tratará de impulsar una inversión de 650.000 millones de euros durante el período presupuestario en infraestructura sostenible, baja en carbono y resiliente al clima. *“La eficiencia energética es una parte fundamental de esta infraestructura, ya que ofrece un valor añadido de la UE en cuanto a objetivos estratégicos de asequibilidad, seguridad y reducción de emisiones, a la vez que proporciona beneficios adicionales a través del empleo, la productividad y la mejora de la salud.”*

EL BEI también utiliza instrumentos de riesgo compartido, por ejemplo el GEEREF NeXt, Global Energy Efficiency and Renewable Energy fund – activo en países de África, el Caribe y Pacífico, América Latina, Asia y países vecinos de la UE– y el Fondo Europeo de eficiencia energética EEEF (European Energy Efficiency Fund) [W23] lanzados conjuntamente con la Comisión Europea y otros inversores desde 2011 para proporcionar financiación para proyectos de energía sostenible.

Par fomentar las inversiones privadas se desarrolló el instrumento de Finanzas Privadas para la Eficiencia Energética (PF4EE Private Finance for Energy Efficiency) (figura 1.6) [W24] como herramienta de financiación innovadora para las empresas que desean invertir en mejorar su eficiencia energética. Combina liquidez en forma de préstamos del BEI y garantías de préstamos financiados a través del Programa LIFE de la Comisión Europea.



Figura 1.5 Esquema del PF4EE (Private Finance for Energy Efficiency)

Fuente: BEI

Otra de sus principales actividades es la participación y gestión de los programas para apoyar la operación y preparación de proyectos e iniciativas:

- ELENA (European Local Energy Assistance) para ayudar a autoridades locales y regionales a preparar proyectos de energías renovables y eficiencia energética a gran escala acordes a los objetivos de la política energética y de cambio climático de la UE.

- JESSICA – Joint European Support for Sustainable Investment in City Areas – una iniciativa que incluye asignaciones de subvención de fondos estructurales, entre otros, a proyectos de eficiencia energética para apoyar el desarrollo urbano.

Pese a estas iniciativas, persiste la necesidad de ampliar las inversiones para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París y la Agenda 2030 de la ONU sobre los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y ayudar a financiar la transición hacia una economía verde, baja en carbono y resiliente al clima

1.4 Análisis del avance en eficiencia energética

Como se ha comprobado, está ampliamente demostrado que las mejoras en la eficiencia energética pueden ser mayores de lo previsto inicialmente. Sin embargo, la mayoría de los beneficios, técnica y económicamente viables, asociados con estas mejoras no se tienen en cuenta y por tanto los resultados a lo largo de estas décadas no son totalmente satisfactorios y no parecen encaminados para alcanzar los objetivos establecidos globalmente. La intensidad energética, “la energía requerida para producir una unidad de producto interno bruto (PIB) global”, no está mejorando lo suficientemente rápido como para compensar el continuo aumento de la demanda mundial de energía, ayudado también por la falta de nuevas normas y políticas en los últimos años, lo que ha ocasionado que las emisiones de CO₂ alcancen niveles máximos.

Es por esto que en casi todos los análisis y evaluaciones mencionados en los apartados anteriores sobre el impulso de la eficiencia, también destacaban reiteradamente las barreras de implementación existentes, que reducen las posibilidades de expandir las iniciativas, y aumentan la necesidad de intensificar los esfuerzos.

A modo de ejemplo, en el informe Global Tracking Framework 2015 [4] relativo al período 2010 - 2012 el Banco Mundial sostiene que tanto la generación de energías renovables como el aumento de la eficiencia energética deberán acelerarse considerablemente, incluso duplicarse.

Seis años más tarde la IEA, que en su Informe Eficiencia Energética 2018: Análisis y perspectivas para 2040 [W25] desarrollaba el escenario mundial eficiente, analizando una vez más la desaceleración de la eficiencia energética y los factores que la impulsan en el informe Eficiencia Energética 2019 [W26].

Una primera reflexión tras esta revisión de la literatura destaca la naturaleza “difusa” del potencial de ahorro de energía. Esto viene ocasionado en primer lugar por una información específica insuficiente o "información imperfecta" sobre las tecnologías adecuadas para la eficiencia energética y por tanto de un conocimiento limitado de los beneficios del aumento de la misma: los consumidores sin información adecuada sobre la relación rendimiento-coste de un dispositivo que usa energía en comparación con sus alternativas, pueden perder las oportunidades rentables sin ejemplos contrastados; la información correcta no llega a todos los actores implicados; la poca información sobre las tecnologías energéticamente eficientes imposibilita mantenerse al día con la innovación tecnológica, etc.

En segundo lugar por la falta de determinación de los objetivos específicos y los beneficiarios potenciales, ya sea por la participación de muchos actores diferentes con intereses parcialmente contradictorios, por la falta de coordinación entre los actores clave; por la credibilidad del programa ante la falta de conciencia y capacidad de contratistas y compañías de servicios fiables, por la diversidad de industrias o de los procesos dentro de cada industria, etc.

A estas cuestiones se unen las “Inconsistencias de gobernanza”, que pueden venir ocasionadas porque en el ámbito federal o nacional se propongan iniciativas de política más ambiciosas y novedosas, que luego en el ámbito regional o local acaben siendo menos estrictas. Por ejemplo en la Unión Europea, el Parlamento pidió durante la elaboración de la Directiva de Eficiencia Energética que se aprobó en 2012, objetivos nacionales vinculantes, mientras que los Estados miembros pedían flexibilidad y objetivos indicativos nacionales, así como un marco amplio de tiempo para la implementación [23]. El resultado final: un objetivo indicativo del 20% de reducción del consumo de energía en la Unión y objetivos orientativos nacionales de eficiencia energética, ambos para 2020, dando como resultado una Directiva poco efectiva y precariamente implementada.

En otras ocasiones es la falta de articulación entre las regulaciones diseñadas e implementadas por diferentes niveles de toma de decisiones, impidiendo políticas consistentes y multisectoriales.

También puede ser debido a la concentración de los esfuerzos en el lado de la oferta, sobre el lado de la demanda. Esto se debe generalmente a que del lado de la oferta se encuentran grandes empresas de servicios públicos con

técnicos cualificados y acceso al crédito por sus grandes contratos, frente a los usuarios del lado de la demanda con dificultad de acceso a la financiación, pequeñas empresas con poca solvencia y dificultad para materializar los ahorros proyectados.

O por la insuficiencia de las regulaciones o regulaciones inapropiadas que dificulta la participación del sector privado, imposibilitando a su vez el acceso a la financiación necesaria. Pese al aumento neto en la demanda mundial de energía, “el porcentaje de uso de energía global cubierto por las políticas y regulaciones obligatorias de eficiencia energética creció solo un 2% entre 2016 y 2017” [W25].

O simplemente por la débil aplicación de los marcos regulatorios existentes actualmente y la falta de sanciones por incumplimiento.

A todo esto se unirían las barreras económicas y financieras. Las principales, las relacionadas con los precios volátiles de la energía, los subsidios a los precios de la energía, los precios inadecuados de la energía que no internalizan todos los costes y falta de disciplina en los pagos, junto con estímulos de precios limitados. Son las "externalidades", que desmotivan a los usuarios de energía a invertir en eficiencia energética cuando los precios de la energía son excesivamente bajos.

Por otra parte están las “restricciones financieras” propiamente, desde niveles de financiación insuficiente, a la percepción de un mayor riesgo técnico o financiero por la incertidumbre empresarial, pasando por los procedimientos burocráticos o costos iniciales demasiado onerosos, o el alto coste de ciertas tecnologías que originan largos períodos para la recuperación de las inversiones.

Igualmente pueden existir una gran variedad de “costes ocultos” vinculados a la gestión (personal especializado, auditorías energéticas, sistemas de información...); a las cuestiones tecnológicas (interrupciones en la producción; reemplazo o capacitación del personal; condiciones de trabajo, calidad del servicio, mantenimiento adicional...); de mercado (especificación y licitación, negociación, transacciones externas...), etc. Estos costos ocultos pueden llegar a ser significativos y superan frecuentemente el ahorro potencial en costos de energía en las pequeñas y medianas inversiones.

Existe además evidencia sobre las “barreras técnicas” vinculadas a la experiencia inadecuada o falta de capacidad en algunos aspectos clave de implementación de las tecnologías de eficiencia energética, así como a las

competencias limitadas y escasez de especialistas técnicos que limitan el alcance de las mejoras del rendimiento dando lugar a menores niveles de ahorro de energía frente a las expectativas iniciales.

En otras ocasiones, los esfuerzos para reducir el consumo de energía o los ahorros producidos mediante la mejora de la eficiencia pueden verse disminuidos por los “efectos rebote” [24]. Esto se conoce también como paradoja de Jevons que afirma que *“a medida que el perfeccionamiento tecnológico aumenta la eficiencia con la que se usa un recurso, es más probable un aumento del consumo de dicho recurso que una disminución”* [25].

Por ejemplo, se puede producir un efecto rebote directo, cuando cualquier dispositivo más eficiente, o con menor coste operativo induce a un mayor uso (tendencia a no apagar la luz porque se tiene iluminación LED que apenas consume energía, usar más el coche o comprar más electrodomésticos o más grandes porque consumen menos, etc.); o un efecto rebote indirecto o repunte de la productividad cuando los ahorros de la eficiencia energética se utilizan para adquirir nuevos dispositivos y nuevos servicios que usan energía.

Otra de las barreras que obstaculizan el avance de la eficiencia energética sería el de los "Incentivos divididos", que se producen cuando participan varias partes interesadas y alguna no está motivada para invertir en las actualizaciones de eficiencia porque no pueden apropiarse de los beneficios asociados. El ejemplo característico son los inmuebles alquilados donde los beneficios de la inversión, que paga el propietario, los disfruta el inquilino.

En definitiva, estos y otros muchos factores afectan al avance idóneo de la eficiencia energética, máxime si se tiene en cuenta el efecto acumulativo entre ellas para determinadas tecnologías y sectores individuales como veremos en el caso de la construcción.

No obstante, para acelerar el progreso en eficiencia energética y capturar todos sus beneficios, el 24 de junio de 2019 la 4ª Conferencia Mundial sobre Eficiencia Energética de la AIE estableció la Comisión Global para la Acción Urgente sobre Eficiencia Energética, que desarrollará recomendaciones prácticas para el progreso en la eficiencia energética *“a través de nuevas y más fuertes acciones políticas por parte de los gobiernos de todo el mundo.”* [W27]

Referencias

Páginas web

- [W1] <https://www.worldenergyoutlook.org>, último acceso enero 2020
- [W2] El informe se consultó en la siguiente página, que actualmente no se encuentra operativa: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EEMR2013_free.pdf. Se puede obtener un resumen en <https://www.iea.org/news/from-hidden-fuel-to-worlds-first-fuel>, y el Informe de Mercado sobre la Eficiencia Energética de 2013 en <https://webstore.iea.org/market-reports?pagenumber=3>, último acceso diciembre 2019
- [W3] Los datos se consultaron en la siguiente página, que actualmente no se encuentra operativa: <https://www.iea.org/workshops/iea-multiple-benefits-workshop.html>, disponible actualmente en <https://www.iea.org/events/beyond-energy-savings-the-multiple-benefits-of-energy-efficiency>, último acceso enero 2020
- [W4] <https://www.esmap.org/>, último acceso enero 2020
- [W5] <https://www.seforall.org/our-work>, último acceso diciembre 2019.
- [W6] <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Downloads/energieministertreffen-hambug-kommu-nique-englische-sprachversion.html>, último acceso diciembre 2019
- [W7] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf, este documento pertenece a una serie de informes especiales elaborados en el sexto ciclo de evaluación del IPCC, órgano de las Naciones Unidas que “proporciona evaluaciones periódicas de las bases científicas del cambio climático, sus impactos y riesgos futuros, y opciones para la adaptación y mitigación”, último acceso junio 2019
- [W8] <https://www.irena.org/>. La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) es una organización intergubernamental para apoyar la transición de los países hacia un futuro energético sostenible, promoviendo la adopción y el uso generalizado de todas las formas de energía renovable (por ejemplo su programa REmap): También opera como plataforma de SEforALL para la energía renovable y apoya el logro del 7º Objetivo de Desarrollo Sostenible: “garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos” (ODS7)
- [W9] Una Unión de la Energía resiliente con una política de cambio climático con visión de futuro, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1bd46c90-bdd4-11e4-bbe1-01aa75ed71a1.0011.03/DOC_1&format=PDF último acceso junio 2019
- [W10] https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es, último acceso junio 2019

- [W11] https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d2648a37-c626-11e6-a6db-01aa75ed71a1.0004.02/DOC_1&format=PDF, último acceso junio 2019
- [W12] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>, último acceso enero 2019
- [W13] https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_es, último acceso junio 2019
- [W14] Directiva (UE) 2018/2002 de 11 de diciembre de 2018. <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00210-00230.pdf> último acceso enero 2019
- [W15] <http://www.cleanenergyministerial.org/>, último acceso octubre 2019
- [W16] <https://archive.epa.gov/epa/cleanpowerplan/fact-sheet-overview-clean-power-plan.html> último acceso octubre 2019
- [W17] <https://www.epa.gov/energy-independence>, último acceso octubre 2019
- [W18] Se puede ver el modelo para la Unión Europea en: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_es, último acceso enero 2020
- [W19] <https://equator-principles.com/wp-content/uploads/2018/01/equator-principles-spanish-2013.pdf> último acceso marzo 2019
- [W20] <https://www.eib.org/en/about/index.htm> último acceso enero 2020
- [W21] <https://www.eib.org/en/efsi/what-is-efsi/index.htm> último acceso enero 2020
- [W22] <https://www.eib.org/en/press/all/2019-081-agreement-on-investeu-confirms-eib-group-as-central-partner-for-new-eu-investment-programme-in-2021-2027> último acceso enero 2020
- [W23] <https://www.eeef.eu/home.html>, último acceso enero 2020
- [W24] <https://www.eib.org/en/products/blending/pf4ee/index.htm>, último acceso enero 2020
- [W25] AIE 2018. Energy Efficiency 2018; IEA, París. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2018>, último acceso septiembre 2019
- [W26] AIE 2019. Eficiencia energética 2019, AIE, París <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019> último acceso enero 2020
- [W27] <https://www.iea.org/news/why-energy-efficiency-is-so-important> último acceso marzo 2020

Bibliografía

- [1] GEA (Global Energy Assessment) 2012. *Global Energy Assessment: – Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- [2] IEA (International Energy Agency) 2014a. *Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making*. Paris, France.
- [3] IEA (International Energy Agency) 2014b. *Capturing the multiple benefits of energy efficiency policies*. Paris, France.
- [4] World Bank; International Energy Agency. 2014. *Sustainable Energy for All 2013-2014: Global Tracking Framework. Sustainable Energy for All*. World Bank, Washington, DC. <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/Global-Tracking-Framework-Report>
- [5] World Bank; International Energy Agency, 2015. *Sustainable Energy for All 2015 - progress toward sustainable energy*. World Bank, Washington, DC, United States, and International Energy Agency, Paris, France. <https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/Event/Energy%20and%20Extractives/Progress%20Toward%20Sustainable%20Energy%20-%20Global%20Tracking%20Framework%202015%20-%20Key%20Findings.pdf>
- [6] OECD/IEA and IRENA 2017, *Executive Summary/Chapter [1/4] of Perspectives for the energy transition – investment needs for a low-carbon energy system*. <https://www.irena.org/publications/2017/Mar/Perspectives-for-the-energy-transition-Investment-needs-for-a-low-carbon-energy-system>
- [7] IRENA (International Renewable Energy Agency) 2017. *Synergies between renewable energy and energy efficiency, a working paper based on REmap*, Abu Dhabi. www.irena.org/remap
- [8] PRESIDENT OBAMA’S CLIMATE ACTION PLAN, junio 2013
*“En 2012, las importaciones netas de petróleo de EE UU cayeron al nivel más bajo en 20 años y han convertido al país en el principal productor mundial de gas natural – el combustible fósil más limpio...
Si bien este progreso es alentador, el cambio climático ya no es una amenaza lejana - ya estamos sintiendo sus efectos en todo el país y el mundo. ... Las tasas de asma se han duplicado en los últimos 30 años... el aumento de las inundaciones, olas de calor y sequías han puesto a los agricultores fuera del negocio, ocasionando el aumento de los precios de los alimentos de forma espectacular... en 2012 registró 11 desastres climáticos diferentes que ocasionaron más de 110 billones de dólares en daños...”*
- [9] Climate Policy Initiative (CPI). 2011. *Annual Review of Low-Carbon Development in China, 2011-2012*
- [10] Caprio, C. 2012. *Improving Energy Efficiency in Russia: Real Progress and Present Challenges*. Scholar Research Brief. IREX. http://www.irex.org/sites/default/files/Caprio%20EPS%20Research%20Brief_0.pdf.

- [11] FINPRO, 2014, Study. *The Federation of Finnish Technology Industries. Energy Efficiency in Russia*, Helsinki:
- [12] Actualmente este documento sólo está disponible en ruso: Rasporjazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 27 dekabnja 2010 g.№ 2446-r «Gosudars tvennaja programma Rossijskoj Federacii «Jenergoberezhenie i povyshenie jenergeticheskoy jeffektivnosti na period do 2020 goda» [Decree of the Russian Federation of December 27, 2010 № 2446-p «State Program of the Russian Federation» Energy saving and energy efficiency for the period up to 2020», 2010, Reference and consultation system «Consultant Plus». <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=142439&fld=134&dst=100005,0&rnd=0.45271434539183875#08103687654472711>
- [13] The World Energy Council, 2012, *World Energy Trilemma. Time to get real – the case for sustainable energy policy*.
- [14] Puig, D & Farrell, TC 2015, *The Multiple Benefits of Measures to Improve Energy Efficiency: A Summary Report*. UNEP DTU Partnership.
- [15] Boza-Kiss Benigna, Bertoldi Paolo, Economidou Marina, 2017, *Energy Service Companies in the EU - Status review and recommendations for further market development with a focus on Energy Performance Contracting*, EUR 28716 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-71475-7, doi:10.2760/12258, JRC106624
- [16] Climate Bonds 2016. 2015 Green Bond Market Roundup, <http://www.climatebonds.net/files/files/2015%20GB%20Market%20Roundup%2003A.pdf>
- [17] CarbonBrief 2014: AIE: El costo marginal de dos grados, <http://www.carbonbrief.org/iea-the-marginal-cost-of-two-degrees>
- [18] IEA (International Energy Agency) 2014c. Special Report: World Energy Investment Outlook.
- [19] EEFIG (Energy Efficiency Financial Institutions Group) 2014. *Energy Efficiency o The First Fuel for the EU Economy*, EEFIG, Brussels.
- [20] European Commission, *Financing energy efficiency*. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/financing-energyefficiency>
- [21] BoAML (Bank of America Merrill Lynch) 2012. SRI & Sustainability: Less is more, Global energy efficiency.
- [22] The European Bank for Reconstruction and Development (BERD). <https://www.ebrd.com/what-we-do/get.html>
- [23] Claire Dupont 2016. *Climate policy integration into EU energy policy*. London: Routledge.
- [24] Sorell, Steven 2007. *The Rebound Effect: an Assessment of the Evidence for Economy-wide Energy Savings from Improved Energy Efficiency*. Project Report. UK Energy Research Centre. <http://www.ukerc.ac.uk/publications/the-rebound-effect-an-assessment-of-the-evidence-for-economy-wide-energy-savings-from-improved-energy-efficiency.html>
- [25] Alcott, Blake 2005. «Jevons' paradox». *Ecological Economics* **54** (1): 9-21.

2 La eficiencia energética en el sector de la construcción³

En todos los informes y análisis mencionados en el capítulo anterior se evidencia los múltiples beneficios y la oportunidad del cambio global hacia los nuevos paradigmas energéticos que puede brindar la eficiencia energética. De todos los sectores macro-económicos que se analizan en ellos: producción de energía, transporte, industria, construcción, etc.; es el de la construcción el que tiene un mayor impacto en términos de consumo energético y de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas.

2.1 Los edificios como factor estratégico en la reducción del uso de energía y de emisiones

Los edificios representan más de un tercio del consumo global de energía [W1], ya sea medido como energía primaria o como suministro total de energía final, la mayor parte, un 80%, durante su fase operativa. Como resultado, también son responsables de aproximadamente un 20% de las emisiones globales de carbono [1], o más de un tercio si se incluyen las emisiones indirectas relacionadas como la fabricación de materiales, el transporte, etc. [2].

Desglosado por los países o regiones más representativos, en la Unión Europea (figura 2.1) el uso total de energía en edificios viene rondando el 40% de toda su demanda energética en las últimas décadas [4], muy similar al caso de los Estados Unidos, donde los edificios representan el 41% de su consumo energético [5]. En los otros dos grandes países que junto con EE.UU. presentan un mayor consumo de energía primaria, China e India, el sector de la construcción representó el 20% [6] y el 35% [7] respectivamente

³ Si bien técnicamente el sector de la construcción comprende básicamente las actividades de demolición y preparación del sitio, las de construcción, los trabajos de instalación, y los de finalización; a los efectos de este documento, se utilizará con el mismo significado que sector de los edificios o de la edificación abarcando todas las actividades a lo largo de su cadena de valor, incluidos la fabricación de materiales y de tecnologías de construcción, y la gestión y uso durante todo el ciclo de vida.

en 2011, con tendencias a un rápido aumento por el gran desarrollo económico que están experimentando. En Rusia, que no aporta datos oficiales sobre la estructura del uso final de energía, la mayoría de estudios confirman al sector de los edificios residenciales (con una gran mayoría de edificios construidos antes de 1960) como el segundo mayor usuario final de energía del país, después de la industria, a lo que habría que añadir aproximadamente un 9% más como consecuencia de todo el consumo de energía del sector de la construcción pública [8].

Además, los edificios representan la mitad del consumo de toda la electricidad producida mundialmente, donde el sector residencial representa el 27% del uso eléctrico total resultando el segundo mayor consumidor de electricidad del mundo [W2], lo que genera demandas considerables en las infraestructuras de distribución y en la adición de capacidad, con el consiguiente coste para los servicios energéticos locales.

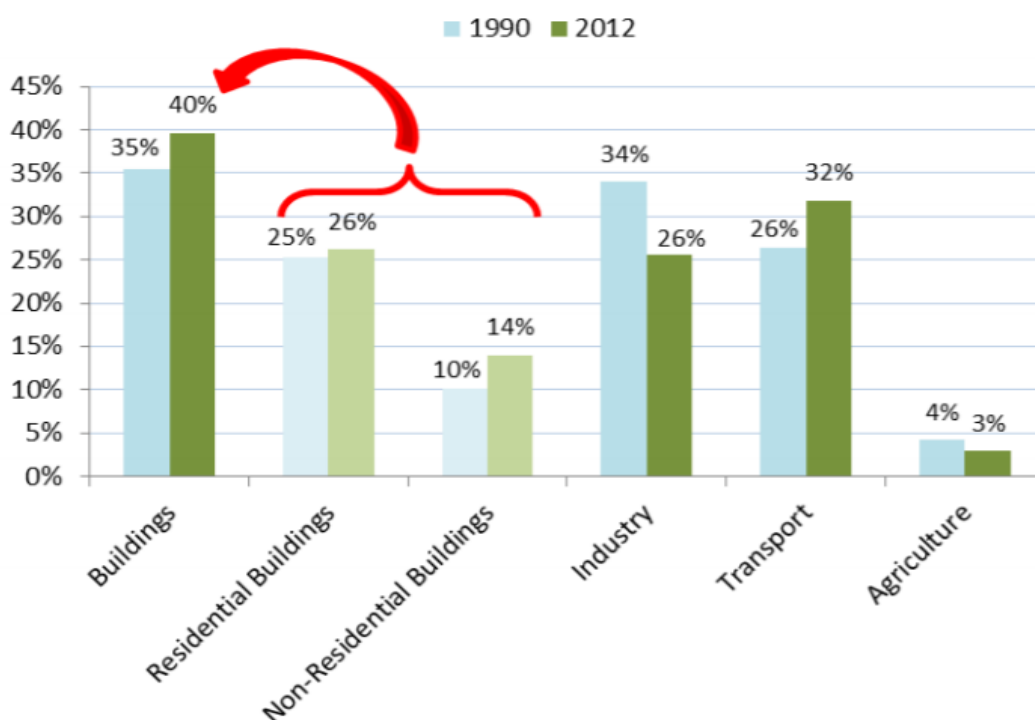


Figura 2.1 Participación de los edificios en el consumo final de energía en la UE-28

(Fuente: Eurostat). Figura obtenida de [3].

Si a esto se añade el aumento previsto de la población (2.500 millones de personas más en 2050 según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas [9], principalmente en áreas urbanas en África y Asia), que producirá un rápido crecimiento de nuevas construcciones con la consiguiente demanda para iluminación, calefacción, enfriamiento, etc.; y las mejoras en los niveles de desarrollo económico y de vida, que suponen una mayor cantidad y uso de equipos y electrodomésticos y más superficie construida por persona (figura 2.2); el uso de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en el entorno construido podrían duplicarse en los próximos 20 años.

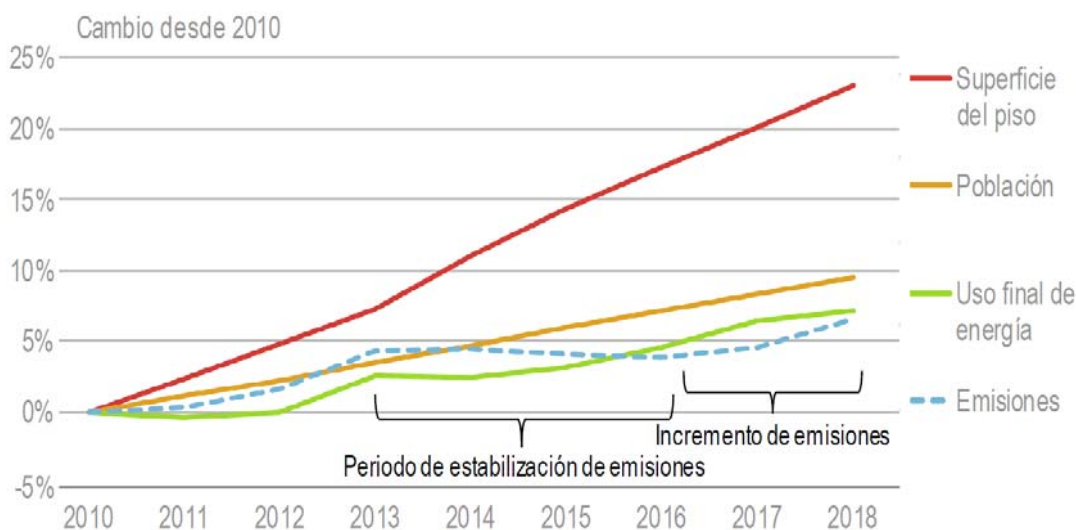


Figura 2.2 Cambio a nivel global en la superficie del piso, población, uso final de energía del sector de edificaciones y emisiones relacionadas con energía, 2010-2018

Fuente: Imagen obtenida de [10]. Datos de la imagen de IEA 2018, World Energy Statistics and Balances 2019, e IEA Energy Technology Perspectives buildings model

No obstante, esos mismos informes señalan también en sus análisis que el sector de la construcción es el que tiene mayor impacto en la estrategia para el ahorro de energía, y como medio para abordar los problemas de seguridad del suministro y de pobreza energética, y, por esto mismo, es el que presenta las mayores oportunidades para la reducción drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero, a costes rentables, en todas las regiones del mundo, incluidos los países en desarrollo [2].

2.2 Las especiales características de la industria de la construcción

Sin embargo, los esfuerzos por reducir el consumo de energía y la huella ambiental de los edificios no logran avances significativos pese al impulso ofrecido por el progreso tecnológico, la puesta en marcha de nuevas políticas y regulaciones destinadas a mejorar el rendimiento energético, el incremento de las inversiones al respecto y la realización de innumerables programas de formación e información

Este crecimiento constante del uso de energía en los edificios y el excesivamente lento avance en la adopción de las medidas de eficiencia energética se explica por las características únicas que definen las actividades relacionadas con su construcción, operación y uso.

En primer lugar, y a diferencia de otros sectores, los edificios presentan una *gran diversidad* incluso dentro de la misma categoría y tipo, en muchos casos personalizados, y con grandes diferencias no sólo en cuanto a formas y tamaños, sino también en cuanto a la intensidad y los patrones de uso, el contexto y la planificación del ámbito en los que se ubican, o en el comportamiento de los ocupantes, que varía aún dentro de un mismo edificio. Si a esto se añade los diferentes niveles de desarrollo económico y tecnológico; los diferentes sistemas constructivos para un mismo elemento en función de la disponibilidad local de materiales (por ejemplo las fachadas o las carpinterías); el diferente grado de equipamiento, productos o servicios (ya sea para calefacción, iluminación, refrigeración, etc.); y las diferentes condiciones climáticas y geográficas del entorno; se comprende que cada edificio presenta múltiples y diversas necesidades energéticas en un sistema complejo individual. Esto dificulta la medición y comparación entre ellos de los ahorros derivados de las mejoras en la eficiencia energética, haciendo necesario el establecimiento de indicadores claros y verificables del consumo de energía.

Por otro lado, los edificios tienen una *vida útil prolongada*, por ello, en la mayoría de países desarrollados, el parque de edificios existente es relativamente antiguo, con una gran proporción de edificios construidos antes de los años 80 [W3], y con al menos las tres cuartas partes de ellos que seguirán todavía activos para 2050. Al permanecer tanto tiempo en uso, y no realizarse las reformas o modernizaciones importantes, por regla general, hasta pasados 20 años de su puesta en uso en los edificios comerciales, y hasta los 30 años en los edificios residenciales, la mayoría de

los edificios pueden ser considerados como ineficientes [W4] bajo los criterios actuales.

Pero quizás lo que más caracteriza y condiciona los avances del sector es la *gran fragmentación* de las partes involucradas en la toma de decisiones, con diferentes intereses y en diferentes fases, que difícilmente se coordinan. Los encargados de establecer las políticas de eficiencia energética a nivel nacional y/o local que carecen de la experiencia y los conocimientos sobre las herramientas efectivas disponibles en su contexto concreto; los promotores inmobiliarios y las entidades financieras preocupados por la rentabilidad, que no plantean la inversiones en función del ahorro de energía futuro del que no van a sacar rédito, y que perciben la eficiencia energética únicamente como un sobre coste; los diferentes técnicos que participan en el diseño y la construcción que individualmente pueden o no estar a la vanguardia de las mejores tecnologías por lo que algunos sistemas pueden ser eficientes sin que esto suponga la eficiencia del conjunto; las empresas constructoras, generalmente de pequeña escala, que no tienen capacidad para la innovación tecnológica; los gerentes que deben proporcionar la operación y el mantenimiento, los ocupantes y los propietarios que a menudo no tienen suficiente información; etc.; todas y cada una de sus decisiones afecta en gran medida al comportamiento energético del edificio en todo su largo ciclo de vida. Esto dificulta que los edificios se traten como sistemas sofisticados interrelacionados para combinar una construcción adecuada a su función y al clima, con un diseño integrado de sistemas de energía y de operación eficientes, que posibilite equilibrar la demanda y el suministro de energía y proporcione flexibilidad al sistema energético global. En la figura 2.3 se muestran las contribuciones de los agentes que intervienen en la construcción de edificios

Todas estas cuestiones han sido planteadas como barreras para la implementación de las medidas que mejoren la eficiencia energética, y han sido objeto de análisis, como veremos en el apartado siguiente, para evaluar los principales instrumentos de política que ayuden a superarlas y permitan que el sector de la construcción contribuya especialmente a cumplir los objetivos de mitigación del cambio climático para limitar el aumento de la temperatura global a 2 grados (se debe reducir el uso de energía en un 80% para 2050); y a abordar los compromisos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) acordados por los Estados miembros de las Naciones Unidas en 2015 [12].



Figura 2.3 Partes interesadas involucradas en el proceso de edificación

Fuente: imagen obtenida del *Informe de Síntesis: Cómo acelerar la eficiencia en la edificación: Ocho medidas para los líderes urbanos* [11]:
<https://buildingefficiencyinitiative.org/language/es>

2.3 La colaboración internacional

Para superar estas barreras críticas, durante estas últimas décadas la comunidad internacional ha realizado importantes esfuerzos de investigación y de análisis, y ha generado diversas guías metodológicas y patrones de comportamiento para desatar los beneficios generalizados de los edificios energéticamente eficientes.

En general se destaca el papel clave del despliegue de los requisitos de eficiencia energética, así como la necesidad de fortalecer la cooperación en la planificación estratégica para definir las políticas energéticas y ambientales adecuadas en el entorno construido, como los factores fundamentales para alcanzar el considerable potencial de ahorro energético, cumplir con las emisiones netas de gases de efecto invernadero para la mitigación del cambio climático, y finalmente, lograr la transición hacia la energía limpia.

2.3.1 Garantizar la seguridad del suministro de energía

El embargo de petróleo por la OPEP en el año 1973 dejó al descubierto la dependencia energética de los países desarrollados, haciendo de la conservación de la energía la principal preocupación mundial. La mejora del parque edificado mediante la aplicación de medidas de eficiencia energética se entiende como una parte destacada del proceso de reducción del uso de los combustibles fósiles, con el fin de disponer de un sistema energético competitivo y con seguridad del suministro, aunque el retorno de la inversión calculado para tales medidas se limitaba únicamente al ahorro de energía y de los costos asociados [13].

Numerosos investigadores y organizaciones públicas y privadas debatieron sobre el rendimiento energético en los edificios, de sus equipos y aparatos, para establecer nuevas estrategias que permitan su optimización. Se desarrollaron nuevas normas y códigos de eficiencia energética del edificio [14], junto con estándares mínimos de eficiencia energética para equipos y electrodomésticos [15].

En los Estados Unidos los estudios se realizan por laboratorios nacionales y consultorías privadas, como el PNNL (Pacific Northwest National Laboratory), el NRDC (Natural Resources Defense Council), el AIA (The American Institute of Architects) o ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). Este último, junto con el NBS (National Bureau of Standards), desarrolló en tiempo record el estándar 90 de ASHRAE en 1975 [16], la primera norma sobre el uso de energía en edificios que “podría ahorrar el 50% de toda la energía que se usa en los edificios del país a medida que se implementa, compensando toda la escasez de energía”.

En Europa occidental, también se trabajaba con Institutos o centros expertos como el IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis [W5]) en Austria, el Fraunhofer-Gesellschaft en Alemania, el CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) en el Reino Unido, entre otros; o se actualizaban sus regulaciones existentes para edificios como en el caso del Ministerio de la Vivienda de Dinamarca. De manera colectiva, la Unión Europea (UE-15) establece por primera vez un programa para reducir el consumo de energía en el que, para el sector residencial, “llama a la acción en aislamiento térmico, ventilación regulada, calefacción regulada, mantenimiento de sistemas de calefacción, eficiencia en la

producción de agua caliente, y electrodomésticos e instalaciones energéticamente eficientes. Las medidas en estas áreas representarían un ahorro energético del 18% en 1985” [17].

Cada uno de los sistemas regulatorios varía de un país a otro. Básicamente se trata de estándares o códigos de energía de la construcción generalmente prescriptivos, que establecen requisitos para cada componente del edificio individualmente. Por ejemplo, los niveles máximos de pérdida de calor permitidos para las ventanas, techos o paredes, o los niveles mínimos de eficiencia para los equipos de calefacción, de refrigeración o de iluminación. Sin embargo, estos estándares a menudo se implementaron débilmente y, por lo tanto, en muchas regiones no tuvieron efectos significativos.

Mientras tanto, la investigación en las economías en desarrollo y en transición se centró, casi exclusivamente, en los sectores de la oferta y la demanda de energía en ese momento (por ejemplo, para garantizar el acceso universal de electricidad a toda la población), y no tanto en los edificios.

Entre tanto, y como medida conjunta, en 1974, los países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) crean la Agencia Internacional de Energía (IEA – International Energy Agency) para “coordinar su respuesta colectiva a grandes interrupciones en el suministro de petróleo”. Tres años más tarde, en 1977, para ayudar a los encargados de formular los instrumentos de política aplicables, así como al resto de implicados en la toma de decisiones, estableció los denominados Acuerdos de Implementación, uno de ellos sobre Conservación de Energía en Edificios y Sistemas Comunitarios (ECBCS - Energy Conservation in Buildings and Community Systems), actualmente bajo el nombre de Programa de Energía en Edificios y Comunidades (EBC – Energy in Buildings and Communities), con el objetivo de *“facilitar y acelerar la introducción de tecnologías nuevas y mejoradas de conservación de energía y ambientalmente sostenibles en edificios”* [W6].

Los diferentes proyectos dentro de este programa, en principio de cuatro años de duración, se basan en el fomento de la investigación y la cooperación internacional, y se ponen en marcha a través de los denominados "Anexos" del Acuerdo de implementación, en temas relacionados con:

- el diseño integrado [18] para la planificación y la edificación,
- los sistemas energéticos del edificio,
- la envolvente del edificio,
- los métodos de escala comunitaria, o
- el uso real de energía del edificio.

El objetivo es apoyar la aplicación de tecnología en la práctica y la formulación de políticas y normas nacionales e internacionales. Con este fin se inicia también la publicación anual de la serie World Energy Outlook [W7] sobre información estratégica, en base a proyecciones autorizadas de las tendencias energéticas, para proporcionar los análisis y el asesoramiento necesario a los responsables políticos sobre el futuro energético y las emisiones relacionadas con la energía.

2.3.2 Cooperación para la acción global

La última década del siglo XX y los comienzos del siglo XXI vienen caracterizados por una serie de negociaciones internacionales: las Cumbres de la Tierra (Río de Janeiro, 1992 y Johannesburgo, 2002); la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de 1992 (CMNUCC) y su Protocolo de Kioto (1997) [W8], como consecuencia de la publicación en 1990 del Primer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático⁴ (IPCC), que ponen de manifiesto las consecuencias del fenómeno del cambio climático y, que a su vez, motivan la necesidad de generar estrategias globalizadas para lograr los objetivos individuales de los estados, jurídicamente vinculantes, para limitar o reducir las emisiones. Se suma entonces la política ambiental a la política energética.

⁴ El IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) fue establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como un organismo internacional para proporcionar evaluaciones científicas, técnicas y socioeconómicas periódicas sobre las causas y los impactos del cambio climático, así como las posibles estrategias de respuesta. No realiza directamente las investigaciones, sino que revisa y analiza la investigación de otros científicos que colaboran de manera voluntaria.

Esta política ambiental incorpora a la eficiencia energética el uso de energías renovables. En este sentido, en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de 2002, junto con la eficiencia energética, ya se incluían varias disposiciones para incrementar el porcentaje de energías renovables en la mezcla de suministros de energía en el mundo. La Iniciativa Brasileña de Energía de “aumentar el uso de fuentes modernas de energía renovable hasta que éstas constituyan, a más tardar en 2010 ó 2015, el 10% de las fuentes de energía utilizadas”, contó con el apoyo de la Unión Europea pero no consiguió la aprobación mundial, considerando que cada país debería “tener derecho a decidir su política energética y sus porcentajes de utilización de diversas fuentes de energía de acuerdo con sus necesidades y su capacidad.” La incorporación de renovables encontraba más barreras en la implementación que la propia eficiencia energética. No obstante, el Reino Unido propondría una iniciativa para la Alianza de Energía Renovable y la Eficiencia Energética (REEEP), mientras que Alemania lanzó una propuesta para organizar la Conferencia Internacional sobre Energías Renovables en Bonn, en junio de 2004. Fruto de esta Conferencia fue la creación de la Red de Políticas de Energías Renovables para el Siglo XXI (REN21) [W9]. para apoyar y promover el desarrollo de las energías renovables a nivel mundial.

Por su parte, a principios de 2000, el Grupo de los Ocho (G8)⁵, inicio varios procesos para ejercer la acción coordinada y el liderazgo internacional en el campo de la eficiencia energética. En la 31ª cumbre del G8, celebrada en el hotel Gleneagles de Perthshire (Escocia) en julio de 2005, se lanza el Diálogo de Gleneagles sobre Cambio Climático, Energía Limpia y Desarrollo Sostenible y se establece el Plan de Acción [W10] donde, por un lado, se le pide al Banco Mundial que cree un "nuevo marco para la energía limpia y el desarrollo, incluida la inversión y el financiamiento" y, por otro, se encarga a la IEA para que formule una serie de recomendaciones sobre escenarios y estrategias para el aumento de la eficiencia energética y un futuro energético limpio y seguro. En virtud de este encargo, la Agencia dispuso una amplia gama de medidas consolidadas en siete áreas prioritarias: actividad intersectorial, edificios, electrodomésticos, iluminación, transporte,

⁵ Surgido en 1975 como G6 (Estados Unidos, Reino Unido, Francia, Alemania Occidental, Japón e Italia) para dar respuesta a la crisis de 1973: En 1976 se une Canadá (G7), en 1977 la Unión Europea, pero sin una Presidencia, y en 1998 con la adhesión de Rusia se constituye el G8.

industria y servicios públicos de energía [19]. Se concretaron en 25 recomendaciones que definen “un conjunto integral y efectivo de políticas nacionales para mejorar la eficiencia energética y abordar las brechas de las políticas actuales para su implementación por los países individuales”.

Las recomendaciones específicas para los edificios se resumen en:

- Códigos de construcción para edificios nuevos.
- Viviendas de energía pasiva y *edificios de energía cero*.
- Paquetes de políticas para la renovación de los edificios inexistentes.
- Esquemas de certificación.;
- Mejoras en la eficiencia energética en ventanas.

Una primera evaluación de la implementación de estas recomendaciones en 2009 permitió la primera valoración internacional de las políticas de eficiencia energética de los países miembros de la IEA [20], y el posterior seguimiento condujo a su actualización en 2011 para impulsar el progreso y reflejar las prioridades emergentes.

Así mismo, como parte del trabajo de la AIE para el Plan de Acción, se elabora un documento [21] con análisis sobre la energía utilizada en edificios, las ventajas de los edificios eficientes y las barreras que los impiden, los enfoques actuales en los códigos de construcción para edificios, los componentes que influyen en el rendimiento, detallando los tipos de regulación y los incentivos existentes, así como los principales tipos de edificios eficientes (edificios de baja energía, *edificios de energía cero*, edificios sostenibles, y especialmente las casas pasivas), etc. y, en base a todo ello, enumera recomendaciones de políticas para “mejorar la forma en que se aborda la eficiencia energética en los códigos de construcción y otras políticas para edificios nuevos.” Este documento podría considerarse un resumen adecuado de la situación del sector en ese momento.

En la cumbre del G8 celebrada en 2007, se respaldan las denominadas “Recommendations Heiligendamm”, que establecen, entre otras cuestiones, que los gobiernos deben apoyar y alentar la construcción de edificios con un consumo de energía neto muy bajo o nulo (edificios de energía pasiva y *edificios de energía cero*) y garantizar que estos edificios estén disponibles en el mercado, estableciendo cuotas para las nuevas construcciones para 2020. Estos edificios deberán usarse como punto de referencia para los estándares

de eficiencia energética en futuras actualizaciones de las regulaciones de construcción. En lo relativo a edificios existentes (recomendación 3), pide a los gobiernos que recopilen sistemáticamente información mediante cálculos con indicadores estandarizados sobre su eficiencia energética, para “la comparación internacional, el monitoreo y la selección de las mejores prácticas”. Al mismo tiempo, y en base a esta información, deberían constituir “un paquete de iniciativas para abordar las barreras, garantizar que se logren mejoras en la eficiencia energética durante la renovación de todos los edificios, y aumentar el conocimiento en el sector y elevar el perfil de mercado de la energía de los edificios.” También pide “establecer, hacer cumplir y actualizar con regularidad estándares obligatorios de eficiencia energética que minimicen los costos totales durante una vida útil de 30 años para nuevos edificios en Códigos de construcción.”

La solicitud de la implantación y el despliegue generalizados de edificios de bajo consumo y sin carbono, implica la necesaria utilización en sus sistemas activos de energías renovables, por lo que también se requiere su implementación “especialmente para la calefacción y la refrigeración, teniendo en cuenta las diferentes situaciones de los edificios nuevos y existentes.”

Tales recomendaciones fueron adoptadas por la IEA que, además, comienza a desarrollar otra nueva serie de publicaciones periódicas Energy Technology Perspectives [W11], un “trabajo innovador que demuestra cómo las tecnologías energéticas pueden marcar la diferencia en una serie de escenarios globales hasta 2050, y revisa en detalle el estado y las perspectivas de las tecnologías energéticas clave en la generación de electricidad, los edificios, la industria y el transporte”.

No obstante, el documento de referencia en ese momento, 2007, será el Cuarto Informe de Evaluación (AR4- Fourth Assessment Report) del IPCC [W12], en el que se identifican las reducciones necesarias de las emisiones contaminantes en base al objetivo de no aumentar la temperatura global del planeta en más de 2 a 2.5 °C por encima del nivel preindustrial (figura 2.4) [22].

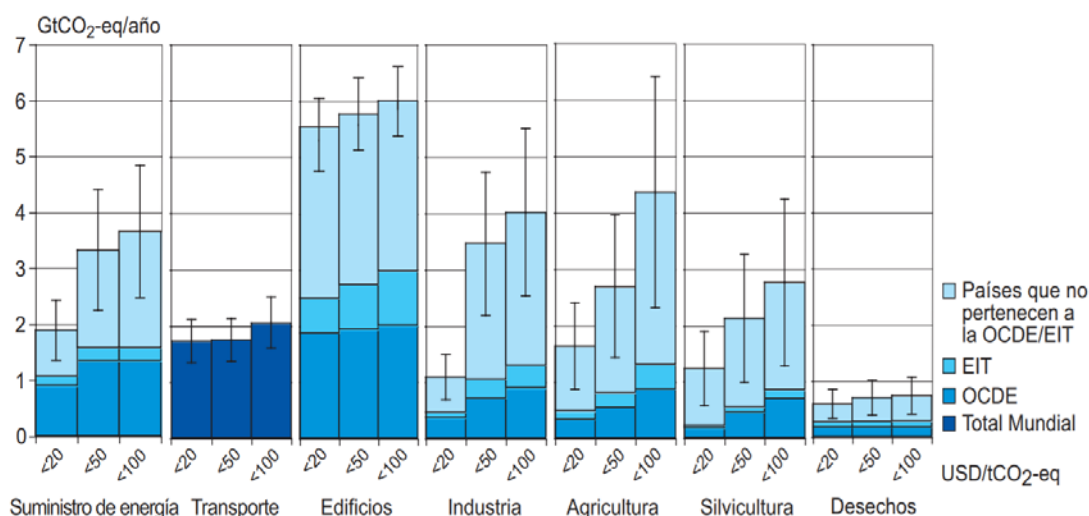


Figura 2.4. Potencial de mitigación económica por sectores en 2030 estimado en función del precio del carbono (por debajo de 20, menos de 50 y menos de 100 USD/tonCO₂eq).

Los edificios tienen el mayor potencial de bajo costo, y la gran mayoría de esto se debe a medidas para mejorar la eficiencia energética en 2030 a partir de estudios ascendentes, comparado con las líneas de referencia respectivas asumidas de las evaluaciones sectoriales.

Fuente: IPCC (2007) [23]

Para los edificios, considerados con el mayor potencial, establecía “que alrededor del 30% de las emisiones de CO₂ de la línea base en los edificios proyectados para 2020 podrían mitigarse (evitarse) de manera rentable a nivel mundial, es decir, sin costos o incluso con costos negativos, si se introdujeran varias opciones tecnológicas, como sistemas de calefacción o electrodomésticos más eficientes. Por lo tanto, aprovechar este potencial solo en el sector de la construcción contribuirá considerablemente a resolver el problema del cambio climático global” [24].

El Capítulo 6 del informe sobre mitigación del cambio climático, Contribución del Grupo de trabajo III al AR4, relativo a los edificios [25] contiene una extensa discusión sobre cómo reducir el consumo energético, principalmente para los edificios nuevos, mediante una amplia gama de técnicas y pasos esenciales para el diseño:

- la orientación y forma del edificio;
- la envolvente de alto rendimiento;

- el diseño pasivo para iluminación, climatización y ventilación;
- los sistemas activos eficientes;
- los dispositivos individuales que utilizan energía con la máxima eficiencia posibles y un dimensionamiento adecuado;
- y por último, la correcta puesta en marcha.

Con esto se podría “lograr reducciones sustanciales en las emisiones de CO₂, utilizando tecnologías maduras para la eficiencia energética que ya existen ampliamente y que se han utilizado con éxito”. Si a esto se une la utilización de energía renovable, “se obtiene una amplia cartera de opciones donde existen sinergias entre el desarrollo sostenible y la reducción de GEI.” Pero para ello considera imprescindible que se realice un Proceso de Diseño Integrado [18], que permita la optimización del edificio completo, como sistema de componentes interrelacionados, y aprovechar la acción colaborativa para generar importantes ahorros de energía en comparación con las prácticas de construcción estándar.

Del mismo modo, las Naciones Unidas a través del Programa para el Medio Ambiente (PNUMA), tras la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de 2002, lanzo el Proceso de Marrakech sobre Consumo y Producción Sostenibles (CPS) con siete grupos de trabajo (Marrakech Task Forces), uno de los cuales se centra en Edificios y Construcción Sostenibles. En 2006 Finlandia asume el liderazgo del Grupo (SBCI- Sustainable Buildings and Climate Initiative) [W13], en cooperación con múltiples partes interesadas de países en desarrollo y desarrollados, con el objetivo principal de promover políticas públicas innovadoras sobre eficiencia energética y el uso de energía renovable en el entorno construido.

Los resultados de la Investigación se plasmaron en varios informes. Uno de ellos mostraba, por ejemplo, que en Europa “más de una quinta parte del consumo actual de energía y hasta 45 millones de toneladas de CO₂ por año podrían ahorrarse para 2010 aplicando normas más ambiciosas a edificios nuevos y existentes” [26]. Para ello debería darse una correcta combinación de las oportunidades de eficiencia energética en el proceso de diseño y de construcción, y un cambio en el comportamiento de las partes interesadas. En dicho informe también se describen varios modelos para conseguir la eficiencia energética de los edificios:

- Edificios de baja energía: edificios que consumen solo un porcentaje (en general el 50%) de la energía de un edificio estándar construido de acuerdo con las regulaciones de construcción aplicables.
- *Edificios de energía cero*: edificios que producen tanta energía proporcionada por fuentes de energía renovables in situ como consumen durante un año completo.
- Casas pasivas: edificios en los que se puede mantener el confort interior sin sistemas activos de calefacción y refrigeración. Su consumo de energía final global es menor del 25% de la energía consumida promedio de un edificio que cumple con las regulaciones de energía aplicables.
- Edificios de energía plus: edificios que producen más energía proporcionada por fuentes de energía renovables in situ de la que consumen en un año.

Un segundo informe, también de 2007 [27], destinado a ayudar a los responsables políticos en el proceso de decisión, realiza un estudio comparativo de casos concretos de instrumentos disponibles para mejorar la eficiencia energética en los edificios, destacando que los más efectivos y rentables son los de regulación y control (como códigos de construcción), siempre que se garantice su aplicación.

Estos dos informes junto con un tercero sobre el Protocolo de Kioto, el Mecanismo de Desarrollo Limpio y el Sector de la Construcción [28], serán la base de un Resumen para responsables de la toma de decisiones [29] que realizará PNUMA-SBCI para garantizar que las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) tengan la información necesaria ante el nuevo acuerdo internacional que se negociará en la cumbre de Copenhague en diciembre de 2009 (COP15). En él se analiza el estado de las políticas energéticas y se proponen las acciones prioritarias para incorporar "la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero de los edificios como piedra angular de toda estrategia nacional de cambio climático".

Esta irrupción de la dimensión ambiental en el uso de la energía hizo proliferar otras iniciativas para demostrar la contribución positiva de los edificios en la mitigación del cambio climático.

El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD - World Business Council for Sustainable Development) [W14] establecido en

1995 como una plataforma para la conciencia empresarial colectiva sobre los desafíos de la sostenibilidad, creó en 2006 el proyecto de Eficiencia Energética en Edificios (EEB), de tres años de duración, con la ambición de que "el uso de energía proyectado para los edificios en 2030 se puede reducir en un 50% utilizando las mejores prácticas y tecnologías actuales, a través de acciones que ofrecen retornos económicos favorables", pero lo que es más relevante, con la finalidad de trabajar para conseguir globalmente *edificios de consumo de energía neta 'cero'* [30], es decir, edificios que reducen la demanda mediante el diseño, tienen instalaciones altamente eficientes y son capaces de generar al menos tanta energía renovable como consumen.

El proyecto estudio los mercados de Brasil, China, Europa, India, Japón y Estados Unidos, e informó como conclusiones seis acciones generales para conseguir nuevas actitudes, finanzas y regulaciones combinadas, así como de la necesidad de una mayor formación de los profesionales en el sector de la construcción [31]:

- Fortalecer y aplicar de manera efectiva los códigos de construcción y el etiquetado energético para una mayor transparencia en los niveles de rendimiento energético.
- Incentivar las inversiones en eficiencia energética.
- Fomentar procesos de diseño integrado.
- Acelerar el progreso tecnológico.
- Capacitar a los profesionales en eficiencia energética.
- Aumentar la conciencia y promover el cambio de comportamiento sobre el uso de energía en los edificios.

Muchas otras colaboraciones de ámbito supranacional abundan sobre las cuestiones ya destacadas en los análisis y evaluaciones descritos, pero de manera más territorial o puntual como las realizadas por instituciones financieras (el Banco Mundial, el Banco Asiático de Desarrollo o el Foro Económico Mundial), o por laboratorios o instituciones científicas como la investigación pionera de *edificios de energía cero* desde el NREL (National Renewable Energy Laboratory); o a través del APERC (Asia Pacific Energy Research Centre) [32], establecido en 1996 por el foro multilateral de

Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC)⁶, para la aplicación de prácticas y tecnologías de eficiencia energética en edificios, como la implementación de códigos y etiquetados del rendimiento energético, análisis de incentivos financieros, la gestión y realización de auditorías energéticas, la creación de programas de ejemplo (demostraciones gubernamentales), de información y de concientización, etc.

En este momento de evolución de los edificios de bajo consumo de energía hacia los *edificios de energía neta cero*, también cabe reseñar las actividades desarrolladas por el Passive House Institute (PHI) [W15], un estándar de energía que utiliza métodos de planificación establecidos, proporcionando soluciones confortables que se adaptan de manera óptima a los climas respectivos en todo el mundo, y utiliza tan poca energía que no hay necesidad de sistemas convencionales de calefacción o refrigeración.

Para abarcar un panorama lo más amplio posible del contexto en el que se desarrolla el proyecto del caso de estudio, el edificio LUCIA (inicio del proyecto en diciembre de 2010), se destacan dos de los foros de intercambio de información científica: los Summer Studies on Energy Efficiency in Buildings [W16], del American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE) que actúan como “catalizador para avanzar en políticas, programas, tecnologías, inversiones y comportamientos de eficiencia energética”, o sus homónimos europeos Summer Studies [W17] del European Council for an Energy Efficient Economy (eceee), que no se centran exclusivamente en los edificios como los anteriores, y que se utilizan para “activar el proceso de formulación y análisis de la política energética europea, generando y brindando conocimiento basado en evidencia, y facilitando la cooperación y creación de redes”

En conclusión, durante los primeros años de 2000 son muchos los esfuerzos por presentar las opciones de reducción de gases de efecto invernadero más rentables como consecuencia, entre otras, de las mejoras directas de la

⁶ Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC) se estableció en 1989 por iniciativa de las principales economías de la cuenca del Pacífico de América, Asia y Oceanía para el crecimiento económico sostenible y la prosperidad en la región. En cuanto a las cuestiones de aplicación de energía, sus prioridades son “reducir la intensidad de energía agregada, acelerar el despliegue de energía limpia, eficiente y renovable, perseguir un desarrollo de energía sostenible y resiliente, para reducir así las emisiones de gases de efecto invernadero.”

eficiencia energética en los edificios [33] y su combinación con las energías renovables. Por un lado, mediante el diseño integrado, el diseño pasivo y el asilamiento mejorado, los sistemas y equipos más eficientes, la integración de energía fotovoltaica, etc. [34], que acabarán por definir el *edificio de consumo de energía neta cero*; por otro, mediante el énfasis en las evaluaciones de los recursos no tecnológicos, el aumento de las ambiciones políticas, los desarrollos normativos, las prácticas para limitar el impacto de las barreras, el liderazgo del sector público... No obstante, la crisis financiera de 2008-2013, redujo la capacidad de financiación de estas prácticas, pero, sobre todo, ralentizó la actividad del sector de la construcción limitando sus posibilidades de transformación.

2.3.3 El desafío para un desarrollo sostenible

Esta última década viene caracterizada por varios acontecimientos internacionales que han vuelto a condicionar las políticas energéticas: en 2012 la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, denominada Río +20, en la que los líderes mundiales acordaron “la más amplia cooperación y participación de todos los países en una respuesta internacional efectiva y apropiada al cambio climático, como desafío global inevitable y urgente para el desarrollo sostenible”; y, en 2015, por un lado, la adopción de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible durante la Cumbre de las Naciones Unidas celebrada en Nueva York, que despliega un conjunto de 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) [W18], con 160 metas para los próximos 15 años, entre los cuales están crear ciudades y comunidades sostenibles o favorecer el acceso universal a la energía no contaminante; y por otro, la adopción del Acuerdo de París en la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) [W19] donde se reconoce que “el cambio climático requiere la cooperación más amplia posible por parte de todos los países, y su participación en una respuesta internacional efectiva y apropiada, con miras a acelerar la reducción de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.”

Al debate establecido por la comunidad internacional en torno a la evidencia de que existe el conocimiento para asegurar la energía asequible, segura y sostenible , pero que no parece estar disponible fácilmente; que existen soluciones de alta eficiencia energética rentables, pero sigue

habiendo una baja penetración en el mercado; que es prioritaria la implementación de esas soluciones en las economías emergentes y en desarrollo para garantizar el crecimiento sostenible; y que es necesaria la cooperación para desarrollar políticas y medidas innovadoras; se une ahora la preocupación por el considerable aumento de la expansión urbana en las ciudades y municipios de todo el mundo, pero principalmente en las economías de rápido crecimiento, donde el gran aumento del parque inmobiliario acarreará cambios en las emisiones de gases de efecto invernadero per cápita y acentuará el efecto de isla de calor urbano que intensifica los efectos del calentamiento global [35].

Para abordar todo esto, aprovechando la Conferencia Río + 20, el Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) [W5], lanzó el informe final de La Evaluación Energética Global (GEA - Global Energy Assessment) [36], el resultado de 5 años de estudios exhaustivos de la literatura relacionada con una amplia gama de actividades, oportunidades y amenazas vinculadas con los sistemas energéticos. Fue realizado por múltiples partes interesadas mediante “análisis independientes, con base científica, integrados y relevantes”, para proporcionar orientación política y técnica que permita implementar medidas destinadas a mitigar el cambio climático, pero también, al consumo sostenible de los recursos.

Esta nueva evaluación (en la figura 2.5 se muestra una recopilación de algunas de las que se estaban realizando), modela diferentes rutas, 41 en este caso, que satisfacen los objetivos de estabilizar las temperaturas globales, mejorar la seguridad energética, eliminar la contaminación del aire y garantizar el acceso universal a los suministros de energía. Estas rutas, para su mejor comprensión, se agruparon en tres escenarios que representan “tres evoluciones alternativas del sistema energético hacia un futuro sostenible”: GEA Supply, GEA Mix, y GEA Efficiency, en función de diferentes combinaciones de eficiencia energética y fuentes de energía.

En esta ocasión, el capítulo de edificios [39] se caracteriza por utilizar un nuevo modelado de energía térmica global basado en el rendimiento, considerando el edificio como un todo de sistemas integrados, y que tiene en cuenta en las compensaciones la energía incorporada mediante un enfoque de ciclo de vida. También cuantifica los beneficios colaterales (sólo los valorables económicamente son al menos el doble de los ahorros en los costos de operación resultantes) y los posibles bloqueos si las políticas no exigen niveles de eficiencia de última generación (que supondrían en torno

al 33% más del uso de energía global de los edificios para el 2050 en comparación con 2005), y analiza ejemplos de *edificios de energía neta cero*, tanto residenciales como comerciales en todo el mundo, así como el coste para la nueva construcción. Además, considera que con la aplicación de “fuentes de energía renovables a escala comunitaria y en el sitio, varios edificios y comunidades podrían convertirse en usuarios de energía neta cero y en emisores de gases de efecto invernadero (GEI) cero o, incluso, en proveedores de energía neta”.

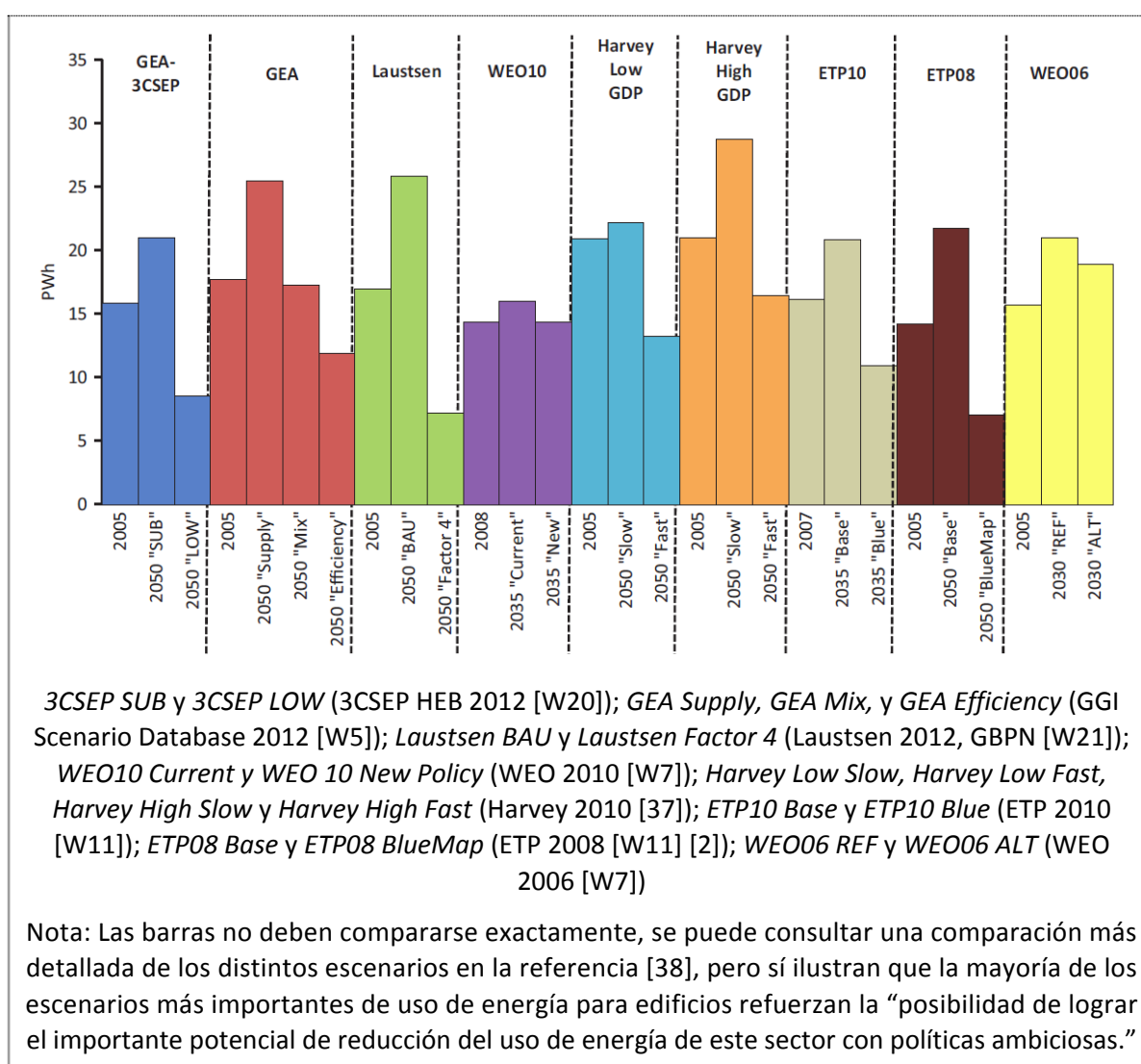


Figura 2.5. Uso de energía térmica en el sector global de la construcción para diferentes escenarios proyectados por diferentes modelos.

Fuente: GEA 2012 [36]. Chapter 10: Energy End-Use: Buildings. Figure 10.28

También concluye, como los análisis anteriores, que las regulaciones (normas para los códigos de construcción, para calefacción y refrigeración, para electrodomésticos, etc.) son instrumentos de política esenciales para impulsar la transición energética, y deben ser ambiciosos y estrictamente aplicados; pero destacando que son aún “más eficaces cuando se combinan con otros instrumentos como los incentivos fiscales, las medidas de información y sensibilización, y/o los programas de liderazgo público.”

Según sus estimaciones, la aplicación generalizada de todas estas cuestiones, junto con el cambio de comportamiento, podrían conseguir reducciones en la demanda de energía en los edificios nuevos y existentes de más del 50% con respecto a la tendencia actual.

En un sentido similar, dentro de las discusiones del Proceso de Diálogo de Heiligendamm del G8, se decide en 2009 la fundación de la Alianza Internacional de Cooperación para la Eficiencia Energética (IPEEC - International Partnership for Energy Efficiency Cooperation), una asociación que incluye a 17 de las economías más grandes del Grupo de los 20 (G20), dedicada a identificar y compartir las mejores prácticas que generan altas ganancias de eficiencia energética en todos los sectores, y ayudar a su implementación mediante políticas y programas nacionales. Desde entonces, el IPEEC ha gestionado la Agenda de Eficiencia Energética del G20 hasta diciembre de 2019, donde se da por terminado el mandato.

Al igual que hemos visto con la proliferación de evaluaciones de la eficiencia energética con escenarios a medio y largo plazo, también incorporó una nueva red como principal foro multilateral para la cooperación en todos los aspectos de los edificios sostenibles, la red SBN (Sustainable Buildings Network) [W22]. Su objetivo era explotar el potencial de la eficiencia energética en edificios residenciales, comerciales e industriales, por lo que se diseñó como una red de redes para evitar las duplicaciones y movilizar a las partes interesadas y redes existentes hacia enfoques comunes (la figura 2.6 representa el esquema de las interrelaciones que pretendía). Esas redes eran las ya mencionadas SBCI del PNUMA [W13], WBCSD [W14], REEEP y GBPN [W21]; u otras como la Information Gateway for Renewable Energy and Energy Efficiency (REEGLE), The Global Environment Facility (gef), o incluso la iniciativa alemana bigEE, por citar algunas.

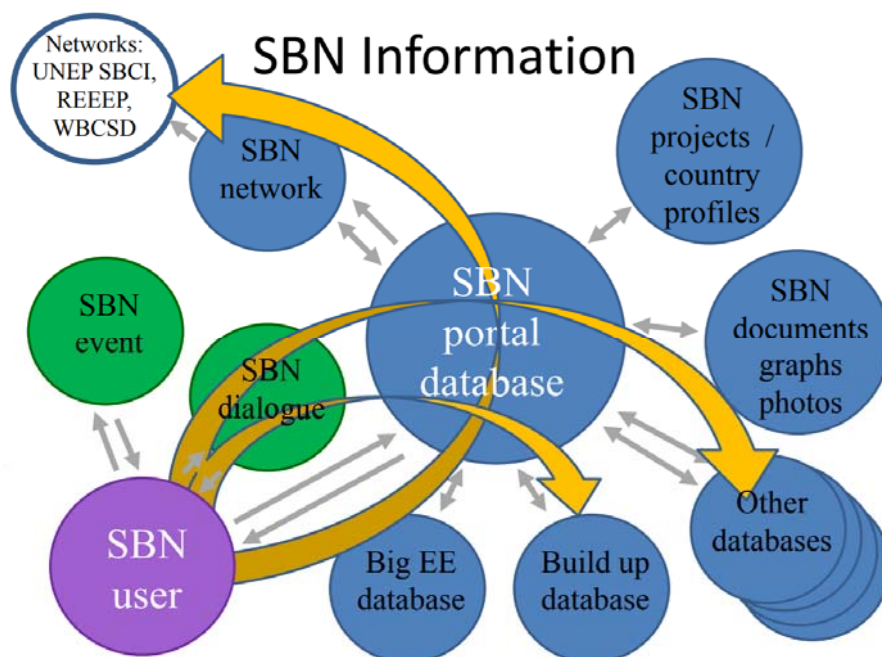


Figura 2.6. Esquema de funcionamiento de la base de datos SBN

Fuente: Diapositiva de la presentación de Jens Laustsen, Analista de Políticas para la Eficiencia en Edificios de la IEA, del proyecto Sustainable Buildings Network (SBN) en la Demand-Side Management (DSM) Meeting, Rueil Malmason, 8 de abril de 2010

Paralelamente, para un mejor funcionamiento del IPEEC, se establecieron también diferentes grupos de trabajo con la idea de acelerar la adopción de políticas y prácticas de eficiencia energética. El BEET (Buildings Energy Efficiency Taskgroup) es el grupo de trabajo para los edificios. Se estableció en 2013 para “la elaboración e implementación de sistemas nacionales de calificación del rendimiento energético de los edificios y mejorar el desarrollo de los instrumentos que permitan la aplicación efectiva de las medidas de política de eficiencia energética” [40].

Entre sus áreas prioritarias de actividad, están las iniciativas o proyectos de:

- investigación, desarrollo y despliegue de *edificios de energía cero*;
- evaluación del impacto de las mejores prácticas de las combinaciones de políticas para edificios existentes;
- capacitación y formación para diferentes partes de la cadena de la construcción;

- desarrollo de recomendaciones para la arquitectura inteligente para climas tropicales y muy calurosos.

Estos a su vez se tradujeron en una serie de informes, el BEET1 [40] sobre esquemas de calificación energética de edificio, que seguirán desarrollándose con informe posteriores (BEET5, para edificios residenciales en 2016); el BBET2 sobre la eficiencia energética del edificio a través de áreas clave para la colaboración internacional, proporcionando a los gobiernos y otros formuladores de políticas, opciones para desarrollar métricas relevantes de rendimiento energético del edificio; el BEET3 enfocado en las oportunidades de colaboración internacional para el establecimiento de estructuras administrativas de puesta en práctica el código (implementación), y en las actividades críticas para el cumplimiento de sus disposiciones (sistemas de verificación; medición del rendimiento, etc.), y que lanzó un portal para compartir estos enfoques y realizar seminarios web, alojado en GBPN [W21]; o el BEET4 [41], publicado en 2015 junto con la IEA, que contiene un conjunto de datos cuantitativos sobre el uso de energía en edificios residenciales y de servicios (período de 2000 a 2012 en los países G20), así como las métricas del rendimiento de la eficiencia energética para edificios de muy baja energía y las renovaciones energéticas profundas; y que destaca, una vez más, la necesidad de evaluar las opciones de planificación de políticas de eficiencia inteligente para optimizar el ahorro de energía asociado. En los informes posteriores se revisarán las políticas regulatorias internacionales para las renovaciones energéticas de edificios existentes (BEET6 en 2017), y se describirán las definiciones y la actividad política de los *edificios de energía cero* o carbono cero (BEET7 en 2018).

Análogamente, Las Naciones Unidas también emitieron su informe de análisis, el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC [W12], en su caso, para abordar “los aspectos científicos, tecnológicos, ambientales, económicos y sociales de la mitigación del cambio climático.” En esta ocasión, en el informe sobre mitigación del cambio climático del grupo de trabajo III [42], además del capítulo dedicado a los edificios, aparece un capítulo dedicado a ‘Asentamientos humanos, infraestructura y planificación territorial’, ante el escenario de que para 2050 casi un 70% de la población viva en zonas urbanas que serán responsables de en torno al 44% de las emisiones globales directas (que aumentan hasta alrededor del 75% si se suman las indirectas); pero con las opciones de que en los países en rápido

desarrollo, con su urbanización e infraestructura sin realizar, sigan “trayectorias más sostenibles y bajas en carbono.”

En cuanto a los edificios, revela su papel crítico ante cualquier futuro global bajo en carbono, y destaca la necesidad de su resiliencia: “al aumentar la resiliencia y la eficiencia en el mundo en desarrollo y mediante la capitalización de ahorro de energía en los países desarrollados y las economías emergentes, nuestra infraestructura puede adaptarse más a un clima cambiante y pueden reducirse las emisiones de gases de efecto invernadero”. También se destaca, como en las otras evaluaciones ya mencionadas (hay que subrayar que algunos de los autores se repiten en varias de ellas), las oportunidades disponibles altamente rentables para reducir la demanda de energía de los edificios, compatibles con el logro de otros objetivos de desarrollo sostenible como el alivio de la pobreza (ODS 1), la salud y el bienestar (ODS 3), la seguridad energética (ODS 7), la mejora del empleo (ODS 8), la industrialización e infraestructuras sostenibles (ODS 9), las ciudades habitables (ODS 11), la producción y consumo responsables (ODS 12), la acción climática (ODS 13)...

Hace una revisión de los avances en el sector de los edificios desde el anterior informe AR4 [25], enfocado no sólo en las emisiones, sino también en las significativas oportunidades de mitigación traducidas en cuatro estrategias principales: la eficiencia del carbono (por ejemplo la integración arquitectónica de energías renovables), la eficiencia energética de la tecnológica (por ejemplo de la envolvente o de los sistemas activos), la eficiencia del sistema/infraestructura (por ejemplo los *edificios de energía casi nula/neta cero* y plus) y la reducción de la demanda de servicios (por ejemplo la medición inteligente); examina la literatura publicada desde entonces en relación con los edificios nuevos y las renovaciones profundas de baja energía; analiza los *edificios de energía/carbono cero* y energía plus y su coste incremental; los avances en tecnología y conocimiento; y los instrumentos de política que han sido “particularmente efectivos”.

Una vez más se pone de manifiesto que “el fortalecimiento sustancial de los códigos de construcción y normas para aparatos, su adopción en otras jurisdicciones y su extensión a más tipos de edificios y electrodomésticos serán factores clave para alcanzar objetivos climáticos ambiciosos y ayudar a adaptarse al clima cambiante.”

Para una mejor penetración en los diferentes sectores de los relevantes hallazgos del informe AR5, altamente técnicos, se desarrollaron una serie de resúmenes precisos, accesibles, claros y relevantes en un trabajo colaborativo desarrollado por: Buildings Performance Institute Europe (BPIE) [W25], WBCSD [W14], GBPN [W21], University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL) [W24], Cambridge Judge Business School (CJBS), y European Climate Foundation (ECF). Los documentos van acompañados de una infografía, que en el caso de los edificios, Cambio Climático: Implicaciones para los Edificios [W24], presenta en un lado el `estado actual de la construcción` (consumo energético derrochador e ineficiente), y en el otro la `construcción para el futuro` (baja en carbono).

Otro de estos resúmenes es el correspondiente a las ciudades, Cambio Climático: Implicaciones para las Ciudades [W24], en el que se destaca que “la renovación de los edificios actuales puede reducir la demanda de energía para calefacción entre un 50 y un 75% en las viviendas unifamiliares y entre un 50 y un 90% en las multifamiliares con un costo entre 100 y 400 dólares/m²”, y que “la abundancia de nuevas construcciones en regiones de rápido crecimiento ofrece una excelente oportunidad de mitigación, ya que los edificios nuevos pueden eliminar las emisiones casi por completo.”

A parte del informe de evaluación, las Naciones Unidas también habían lanzado la iniciativa SEforALL (véase el apartado 1.1) para garantizar el acceso para todos a las formas de energía modernas, y conseguir en 2030 reducir la intensidad energética mundial en un 40% y elevar al 30% la cuota de energías renovables. Para ello, la iniciativa desarrolló el programa "aceleradores de eficiencia energética", estableciendo en 2014 el correspondiente a los edificios, BEA (Building Efficiency Accelerator) [W23], con el objetivo de reunir a los responsables políticos locales y regionales, el sector privado y las instituciones financieras para impulsar la adopción de mejores prácticas y programas para “duplicar la tasa de mejora de eficiencia energética en el sector de la construcción para 2030.” Esta iniciativa, como otras anteriores, derivó hacia la colaboración directa con los gobiernos locales, las ciudades, al ser éstos en última instancia los encargados de la aplicación regulatoria y de priorizar políticas e inversiones en edificios, con el objetivo de construir ciudades más habitables.

Pero el verdadero reconocimiento internacional del papel clave del sector de la construcción será con la aprobación de la Agenda 2030 [W18], que coloca las acciones en los edificios transversalmente a la mayoría de los

Objetivos de Desarrollo Sostenible, y la celebración en París de la COP 21 [W19], donde se propuso por primera vez la celebración específica del ‘Día de los Edificios’, reconociendo su gran potencial para combatir al cambio climático, y se lanzó la Alianza Global para Edificios y Construcción (GlobalABC, o GABC) [W26].

La COP 21 aprobó el Acuerdo de París que, de manera resumida, se basa en la drástica reducción en el ritmo de las emisiones globales de gases de efecto invernadero “para contribuir a limitar el calentamiento global a 1.5 °C por encima de los niveles preindustriales para mediados de siglo”. Para ello, se acordaron nuevos objetivos nacionales de acción climática, denominados contribuciones determinadas a nivel nacional NDC (Nationally Determined Contributions), voluntarios y actualizados cada vez con mayor grado de ambición, a realizar a partir de 2020.

GlobalABC se encarga de favorecer la implementación de las NDC (Desarrollo de capacidades; Finanzas; Informes; Revisión) del Acuerdo de París en el sector de la construcción en todo el mundo. Para ello, contribuyó al Diálogo de Talanoa [W27], lanzado en 2017 en la COP 23 en Bonn, y llevado a cabo durante 2018 [43], y ha desarrollado una guía [44], así como una serie de evaluaciones y pautas de apoyo: una hoja de ruta global [45] y hojas de ruta regionales 2020-2050 para “ayudar a los responsables políticos a diseñar sus estrategias nacionales de edificación y clima, así como a las organizaciones a diseñar sus políticas a largo y medio plazo y determinar sus asignaciones de inversiones”. Sus ocho áreas estratégicas incluyen parte de las acciones que se vienen repitiendo en todas las evaluaciones hasta la fecha: aumentar los *edificios de energía neta cero* y las tasas de renovación energética del parque inmobiliario, y la operación y los sistemas eficientes; insiste en la correcta planificación urbana y el uso de energía limpia; y como novedad añade el análisis del impacto ambiental de los materiales y la resiliencia a los riesgos del cambio climático (Figura 2.7).

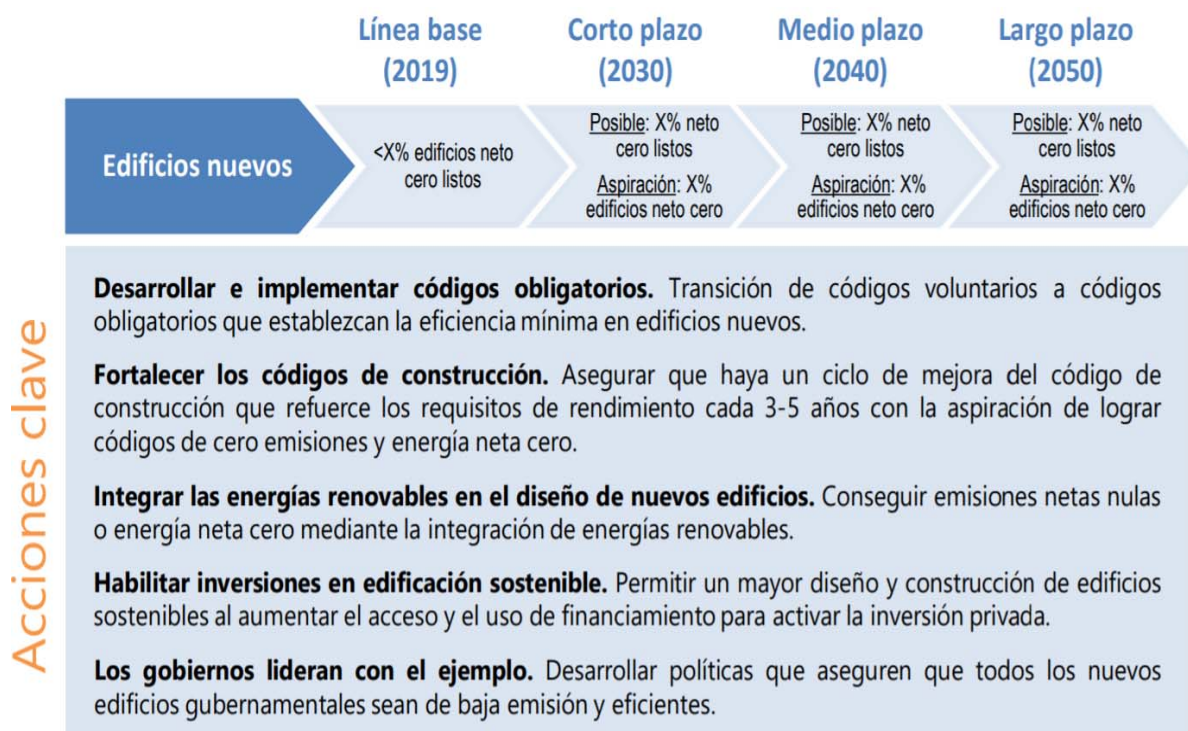


Figura 2.7. Ejemplo de la organización del esquema de la hoja de ruta para edificios de nueva construcción

Fuente: IEA 2019. Presentación de Edith Bayer & Nora Steurer sobre la Hoja de Ruta para los Edificios y la Construcción. 30 Julio 2019

Igualmente, en 2016 y con ocasión de la Conferencia de las Partes (en este caso la COP22), comenzó a publicar un Informe anual de estado global (Global Status Report) [W28], para efectuar un seguimiento de los avances del sector de los edificios hacia la descarbonización, mostrando los mejores enfoques de política y tecnología. En el informe se destacaba que “la intensidad energética de los edificios debe disminuir al menos en un 80% para 2050 para alcanzar los objetivos 2DS (limitar a 2 °C el aumento de la temperatura de la tierra con respecto a los niveles preindustriales). La mejora de la envolvente del edificio será fundamental para reducir las cargas de calefacción y refrigeración para lograr esas ambiciones”. Todo ello conforme a los siguientes principios:

- actuar de inmediato,
- reducir primero la demanda de energía a su nivel mínimo mediante medidas de eficiencia energética,

- considerar también la energía y las emisiones del lado del suministro (como electricidad y calor con bajas emisiones),
- adaptarse a la diversidad de las circunstancias nacionales al establecer políticas y estrategias, y que sean coherentes a todos los niveles de decisión.

Por supuesto, la IEA ha mantenido un papel activo durante esta década a parte de las colaboraciones con las organizaciones mencionadas anteriormente, por ejemplo añadiendo a los informe periódicos ya citados [W7 y W11] la serie Policy Pathway, con el objetivo de ayudar a los gobiernos a superar la aparente falta de capacidad técnica para implementar sus 25 recomendaciones de políticas de eficiencia energética [19] de manera efectiva. El primero, de 2010, se centró en la verificación del cumplimiento de los dispositivos dado que en los países de la IEA el consumo de electricidad en los edificios debido a los aparatos representa el 15% del consumo total de electricidad. Ese mismo año se publicó el correspondiente a la certificación de la eficiencia energética de edificios, entendiéndose la capacidad de la certificación para “garantizar el cumplimiento de las normas de construcción, y apoyar a los edificios con un mejor rendimiento”, en edificios nuevos; y hacer que la energía sea más visible para la venta o alquiler, aconsejar sobre cómo mejorar el rendimiento energético, y documentar la actualización del edificio existente a mejores estándares, en edificios existentes. En 2013 se publicó el relativo a los códigos de energía del edificio, Policy Pathway - Modernising Building Energy Codes, [46], ya que una vez más, se identifica como el instrumento clave para las políticas de mejora de la eficiencia energética de los edificios.

Desde 2017 la IEA prepara para GlobalABC los informes anuales Global Status Report: Towards zero-emission, efficient and resilient buildings. El Global Status Report 2017 [47], señala que los edificios y la construcción están creciendo a tasas sin precedentes por lo que son un importante impulsor de la demanda de energía y las emisiones globales de CO₂, pero a pesar de que el sector ofrece un importante potencial de mitigación de emisiones y reducción del uso de energía a través de mejoras en la eficiencia, no se le presta la atención adecuada en la mayoría de las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) (las mejoras en eficiencia energética en edificios representaron “menos del 10% de los \$ 4.6 billones invertidos globalmente en la construcción y renovación de edificios en 2016”). Destaca principalmente las mejoras en el rendimiento de la

envolvente del edificio junto con la construcción de edificios con un alto rendimiento energético y bajas emisiones de carbono; y advierte que casi dos tercios de los edificios aún no cuentan con códigos de energía del edificio obligatorios.

El informe correspondiente a 2018 [W29], presentado Katowice en la COP 24, reitera los datos de la ralentización en las inversiones en eficiencia energética y la falta de NCD que aborden las emisiones de la fabricación de materiales de construcción; y pone de manifiesto la preocupación para la próxima década: la fuerte demanda de energía para sistemas de refrigeración y aires acondicionados vinculada al aumento de los ingresos en los países en desarrollo y el incremento de las temperaturas en muchos lugares del planeta.

El último informe publicado en el momento de escribir esta tesis, 2019 Global Status Report [10], confirmó la urgente necesidad de actuar, ya que industria de la construcción no está encaminada para cumplir los acuerdos internacionales hacia la transición climática (descarbonización) y los objetivos de desarrollo sostenible; con escasa inversión en eficiencia energética y muy pocas acciones para abordar el uso y las emisiones de la energía en el sector incluidas en las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC). Como en el informe anterior, ante la preocupación por el aumento en la refrigeración del espacio, los expertos destacan la importancia de:

- los esfuerzos bajo la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal [W30], para promover el uso de sistemas de refrigeración más eficientes que usen refrigerantes con "bajo potencial de calentamiento global"; y
- los "diseños de edificios y forma urbana de enfriamiento pasivo efectivos, inspirados localmente, así como las soluciones basadas en la naturaleza, como bosques urbanos, techos y fachadas verdes que reducen la necesidad de sistemas de refrigeración eléctrica en primer lugar".

Como resumen de la actividad de la IEA podría citarse la reciente publicación [48] que destaca el papel crítico de los edificios para poder encaminarse hacia una transición baja en carbono. Establece un *escenario de transición más rápida*, que permitiría entre otras:

- la disminución promedio del 75% del uso de combustibles fósiles (incluida la eliminación total del uso de carbón) para 2050;

- la reducción de las emisiones de CO₂ al tiempo que se mejora el confort y los servicios mediante la eficiente energética de los sistemas (como bombas de calor) y la tecnología de energías renovables (como la solar), apoyados en la digitalización y la gestión inteligente;
- el cambio hacia la electrificación combinada con la generación de energía limpia, la construcción de energía casi nula y las renovaciones energéticas en profundidad para reducir las necesidades energéticas del sector en casi un 30% hasta 2050, a pesar de la duplicación de la superficie construida global;
- la acción política inmediata (como fortalecer los códigos de construcción obligatorios) y aprovechar los beneficios de la cooperación internacional; y
- la reasignación rápida de capital que permita economías de escala y reducir el costo de la energía limpia en edificios.

Existen otras muchas iniciativas de colaboración internacional en la lucha contra el cambio climático, promoviendo la eficiencia y la descarbonización del entorno construido (como el Compromiso de Edificios de Carbono Cero [W31] del WGBC -World Green Building Council-, en línea con los objetivos de su proyecto Advancing Net Zero mostrados en la figura 2.8, a raíz de la COP21; la iniciativa architecture2030 con su “desafío 2030” [W32], para que a esa fecha la construcción y renovación de los edificios sea neutra en carbono; o la Iniciativa de Edificios de Cero Carbono para Todos [W33] lanzada en la Cumbre de Acción Climática de la ONU de 2019), y de otros tantos organismos (como la AIA -The American Institute of Architects- [W34], a través de su Marco para la resiliencia; la iniciativa franco-alemana PEEB -The Programme for Energy Efficiency in Buildings- [W35] para dirigir inversiones, políticas y normas de construcción en los mercado emergentes hacia edificios energéticamente eficientes; la red de ciudades C40 cities [49], red de mega ciudades para el desarrollo bajo en carbono; etc.), centros de investigación (como el WRI -World Resources Institute- [50] a través del WRI Ross Center for Sustainable Cities; o el IISD -International Institute for Sustainable Development- a través de su Centro de Conocimientos sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible [W36]), instituciones financieras (como el World Bank Group [51] dentro de su programa de asistencia para lograr soluciones energéticas sostenibles en países con menores ingresos; o el Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo [52]). Casi siempre enfocados por áreas geográficas como la ya

comentada Asia-Pacífico [32], o para los países árabes del Sur y Este del Mediterráneo (Semed) [53], o para América Latina...; o en acciones encaminadas hacia la refrigeración eficiente en su parte relacionada con los edificios (como la iniciativa de SEforALL, Cooling for All [W37], para un acceso a la refrigeración asequible y sostenible; o la Cool Coalition [W38], la Coalición para la Refrigeración Limpia y Eficiente).

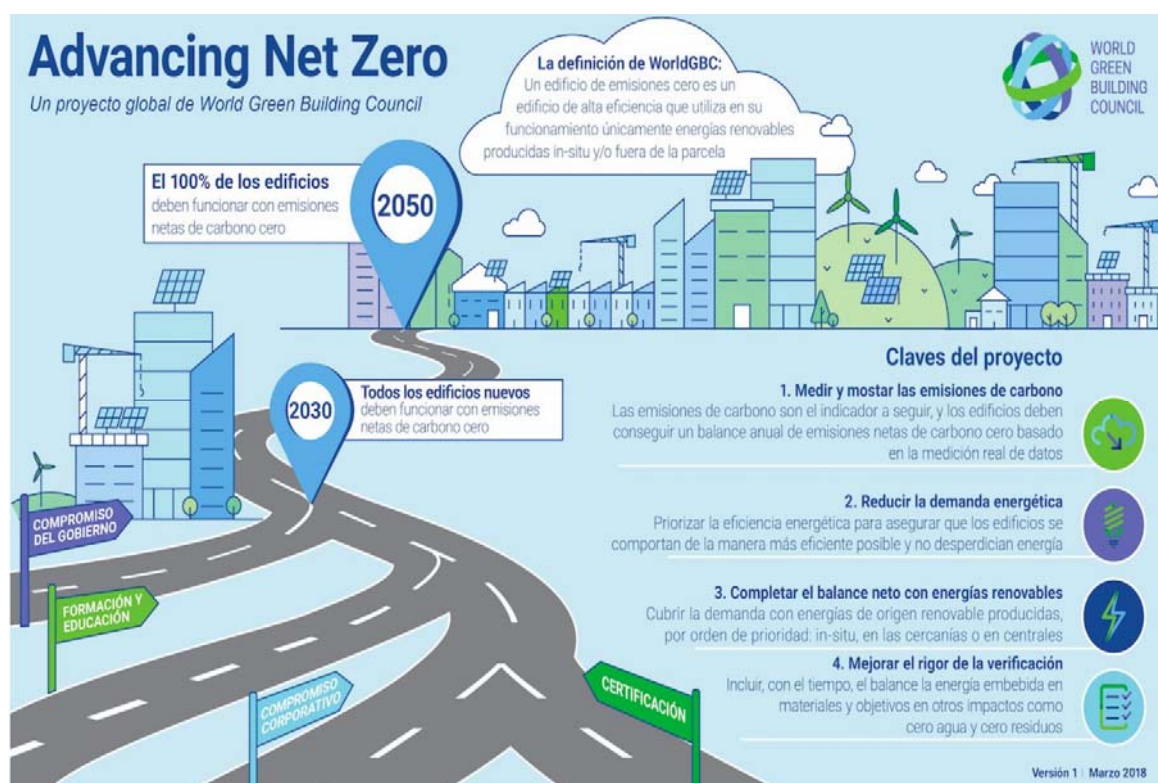


Figura 2.8. Infografía del WorldGBC con la información clave del proyecto global

Fuente: Green Building Council España:

<https://gbce.es/blog/2019/05/29/publicado-el-informe-anual-del-proyecto-advancing-net-zero/>

Como se puede observar, se han planteado e implementado multitud de herramientas políticas en todo el mundo relacionadas con los edificios a fin de aprovechar el potencial de eficiencia energética. Sin embargo, pese a su diseño apropiado a las condiciones específicas del país o su implementación en paquetes, para aprovechar las sinergias, la cobertura de la política en relación con los edificios es muy débil, como se ha visto y se comprobará para el caso de la Unión Europea, y no se están logrando los niveles esperados de dicho potencial.

Referencias

Páginas web

- [W1] véase las series Key World Energy Statistics (KWES) de la Agencia International de la Energía (IEA), <https://www.iea.org/data-and-statistics/>, último acceso enero 2020.
- [W2] Agencia International de la Energía (IEA), International Energy Agency Statistics, (2017). <http://www.iea.org>, último acceso enero 2020.
- [W3] EU Building Stock Observatory, <https://ec.europa.eu/energy/en/eubuildings>, último acceso enero 2020.
- [W4] http://bpie.eu/wp-content/uploads/2017/12/State-of-the-building-stock-briefing_Dic6.pdf, último acceso enero 2020.
- [W5] https://iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/Energy/Research/Research_Areas.html, último acceso julio 2019.
- [W6] <https://www.iea-ebc.org/ebc>, último acceso junio 2019.
- [W7] <https://www.iea.org/topics/world-energy-outlook>, último acceso junio 2019.
- [W8] https://unfccc.int/es/kyoto_protocol, último acceso julio 2019.
- [W9] <https://www.ren21.net/>, último acceso octubre 2019.
- [W10] G8, 2005. Gleneagles Plan of Action: Climate Change, Clean Energy and Sustainable Development. <http://www.g7.utoronto.ca/summit/2005gleneagles/climatechangeplan.pdf>, último acceso junio 2019.
- [W11] <https://www.iea.org/analysis/all?topic=energy-technology-perspectives>, último acceso noviembre 2019.
- [W12] <https://www.ipcc.ch/reports/>, último acceso julio 2019.
- [W13] La iniciativa SBCI (Sustainable Buildings and Climate Initiative) inicialmente se denominó Sustainable Buildings and Construction Initiative. https://energies2050.org/wp-content/uploads/2017/02/2013-07-UNEP-SBCI_Plaquette-GB_12-pages.pdf.
Actualmente se encuentra dentro de las actividades del PNUMA relacionadas con las ciudades: <http://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/city-activities>, último acceso octubre 2019.
- [W14] <https://www.wbcsd.org/>
- [W15] <https://passivehouse.com/index.html>, último acceso junio 2019.
- [W16] <https://www.aceee.org/proceedings>, último acceso octubre 2019.
- [W17] <https://www.eceee.org/>, último acceso octubre 2019.
- [W18] <https://www.agenda2030.gob.es/es/objetivos>, último acceso enero 2020
- [W19] <https://unfccc.int/es/news/final-cop21>
- [W20] <https://3csep.ceu.edu/publications.html>, último acceso marzo 2020.
- [W21] <https://www.gbpn.org/about>, último acceso enero 2020.

- [W22] Declaración conjunta de los ministros de energía del G8, de Brasil, China, Egipto, India, Corea, México, Arabia Saudí y Sudáfrica, y el comisionado europeo de energía: http://www.g7.utoronto.ca/energy/090525_energy-g8+9.pdf, último acceso noviembre 2019.
- [W23] <https://buildingefficiencyaccelerator.org/>, último acceso octubre 2019.
- [W24] <https://www.cisl.cam.ac.uk/business-action/low-carbon-transformation/ipcc-climate-science-business-briefings/buildings>, último acceso noviembre 2019.
- [W25] <http://bpie.eu/>, último acceso diciembre 2019.
- [W26] <https://globalabc.org/>, último acceso febrero 2020.
- [W27] https://cop23.com.fj/wp-content/uploads/2019/03/Talanoa-Dialogue_Report_F_February-19-20193.pdf, último acceso febrero 2020.
- [W28] https://globalabc.org/sites/default/files/2020-03/GABC_GSR_2016.pdf, último acceso febrero 2020.
- [W29] Versión en español: https://globalabc.org/sites/default/files/2020-03/2018_Global_AB_%20Global_Status%20Report_es.PDF, último acceso febrero 2020.
- [W30] <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/world-takes-stand-against-powerful-greenhouse-gases-implementation>, último acceso febrero 2020.
- [W31] <https://www.worldgbc.org/thecommitment>, último acceso febrero 2020.
- [W32] https://architecture2030.org/2030_challenges/2030-challenge/, último acceso febrero 2020.
- [W33] <https://wrirosscities.org/sites/default/files/Zero%20Carbon%20Buildings%20for%20All%20--%20UNSG%20Summitable%20Outcome%20for%20Buildings%20%28Final%29.pdf>, último acceso marzo 2020.
- [W34] <https://www.aia.org/resources/9406-reframing-resilience-proceedings-of-the-aia-2015-resilience-summit>, último acceso febrero 2020.
- [W35] <https://www.peeb.build/>, último acceso marzo 2020.
- [W36] <https://sdg.iisd.org/>, último acceso marzo 2020.
- [W37] <https://www.seforall.org/interventions/cooling-for-all>, último acceso enero 2020.
- [W38] <https://coolcoalition.org/>, último acceso marzo 2020.

Bibliografía

- [1] Price L., De la Rue du Can S., Sinton J., and Worrell E. 2006. *Sectoral Trends in Global Energy Use & GHG Emissions*. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, CA.
 - [2] IEA (International Energy Agency) 2008a. *Energy Technology Perspectives 2008: Scenarios and Strategies to 2050*. IEA/OECD: Paris. [W11]
 - [3] EFIG (Energy Efficiency Financial Institutions Group) 2015. *Energy efficiency, the first fuel for the EU economy. How to drive new finance for energy-efficiency investments*.
 - [4] Communication from the Commission 1984. *Towards a European policy for the rational use of energy in the building sector* (COM [84] 614 final, 13 November 1984).
 - Comunicación de la Comisión, 2008. *Eficiencia energética: alcanzar el objetivo del 20 %* (COM [2008] 772 final de 13 de noviembre).
 - [5] US Department of Energy 2015. *Renewable Energy Data Book*. US Department of Energy, Washington DC, USA.
 - [6] Shen L. J., Zhang P., Zhong S. Y. 2012. *China statistics yearbook 2011*. China National Bureau of Statistics, China.
 - [7] Rawal R., Vaidya V., Ghatti V., Ward A., Seth S., Jain A., Parthasarathy T. 2012. *Energy code enforcement for beginners: a tiered approach to energy code in India, Proceedings of the 2012 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*. Pacific Grove, CA.
 - [8] Bashmakov I., Borisov K., Dzedzichuk M., Gritsevich I., and Lunin A. 2008. *Resource of Energy Efficiency in Russia: Scale, Costs and Benefits*. Center for Energy Efficiency (CENef) report developed for the World Bank, Moscow.
 - [9] UNDESA (United Nations, Department of Economic and Social Affairs), Population Division 2015. *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP.241. United Nations, New York.
 - [10] Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency and the United Nations Environment Programme 2019. *2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*.
 - [11] Becque R., Mackres E., Layke J., Aden N., Liu S., Managan K., Nesler C., Petrichenko K., MazurStommen S., and Graham P. 2016. *Accelerating Building Efficiency: Eight Actions for Urban Leaders*. World Resources Institute, Washington DC.
 - [12] IEA (International Energy Agency) 2013. *Transition to sustainable buildings. Strategies and opportunities to 2050*. Paris.
- Lovins A. 1976. *Energy Strategy: The Road Not Taken?*. *Foreign Affairs*, **55**(1), 65-96.

- Deringer J., Iyer M. and Yu Joe Huang Y. J. 2004. *Transferred Just on Paper? Why Doesn't the Reality of Transferring/Adapting Energy Efficiency Codes and Standards Come Close to the Potential?*. In: Proceedings of the 2004 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA.
- [15] Della Cava M. F., Weil S., du Pont P., Phuket S. R. N., Constantine S., and McMahon J. E. 2001. Supporting a Network for Energy Efficiency Labels and Standards Programs in Developing Countries. In: *Energy Efficiency in Household Appliances and Lighting*. Ed. Bertoldi P., Ricci A. and Almeida A. Heidelberg: Springer: 666-676.
-] ASHRAE Standard 90-75. 1975. Energy Conservation in New Building Design, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Busby Perkins + Will Consulting. 2007. *Roadmap for the Integrated Design Process (IDP)*. Developed for BC Green Building Roundtable. Canada. <http://www.greenspacencr.org/events/IDProadmap.pdf>.
- [19] IEA (International Energy Agency) 2008b. Energy efficiency policy recommendations prepared by the IEA for the G8 under the Gleneagles Plan of Action. OECD/IEA, Paris.
- [20] IEA (International Energy Agency) 2008c Implementing Energy Efficiency Policies: Are IEA Member Countries on Track?. OECD/IEA, Paris.
- [21] Laustsen J. 2008. Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings, IEA Information Paper in support of the G8 Plan of Action. IEA/OECD, Paris.
- [22] SEG (Scientific Expert Group on Climate Change) 2007. *Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*. Report prepared for the United Nations Commission on Sustainable Development. Sigma Xi, Research Triangle Park, NC, and the United Nations Foundation, Washington, DC.
- European Commission 2007. *Limiting Global Climate Change to 2 degrees Celsius: The way ahead for 2020 and beyond*. Brussels: Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.
- [24] <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg3/>
- [26] UNEP– SBCI (United Nations Environment Programme – Sustainable Buildings and Climate Initiative) 2007. *Buildings and climate change: Status, challenges, and opportunities*. Paris.
- [27] Koepfel S. and Ürge-Vorsatz D. 2007 *Assessment of policy instruments for reducing greenhouse gas emissions from buildings*. Report for the UNEP-Sustainable Buildings and Construction Initiative. UNEP and Central European University. Budapest, Hungary.
- [28] Cheng C., Pouffary S., Svenningsen N., Callaway M. 2008. The Kyoto Protocol, The Clean Development Mechanism and the Building and Construction Sector –

- A Report for the UNEP Sustainable Buildings and Construction Initiative, United Nations Environment Programme. Paris, France.
- [29] Huovila, P, Ala-Juusela, M, Melchert, L, Pouffary, S, Cheng, C-C, Ürge-Vorsatz, D, Koepfel, S, Svenningsen, N. and Graham, P. 2009, *Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers*. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- [30] WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) 2007. *Energy Efficiency in Buildings: Business Realities and Opportunities*, Full Report. Geneva, Switzerland.
- [31] WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) 2009. *Transforming the Market – Energy Efficiency in Buildings*. The energy Efficiency in Buildings Programme, WBCSD, Geneva, Switzerland.
- [32] APERC (Asia Pacific Energy Research Center) 2003. *Energy Efficiency Programmes in Developing and Transitional APEC Economies*. Japan.
- [33] McKinsey & Company 2010. Impact of the financial crisis on carbon economics- Version 2.1 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/impact-of-the-financial-crisis-on-carbon-economics-version-21>
- [34] Harvey L. D. D. 2006. *A handbook on low-energy buildings and district-energy systems: fundamentals, techniques and examples*. Earthscan, London. UK.
- [35] Kleerekoper L., van Esch M., Salcedo T. B. 2012. How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, **64**: 30–38.
- [36] GEA 2012. *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, UK y New York, NY, USA. and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. <https://iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/Home-GEA.en.html>
- [37] Harvey L. D. D., 2010. *Energy and the New Reality, Volume 1: Energy efficiency and the Demand for Energy Services*. Earthscan, London, UK.
- [38] Ürge-Vorsatz D., Petrichenko K., Antal M., Staniec M., Labelle M., Ozden E., Labzina E. 2012a. Best Practice Policies for Low Carbon & Energy Buildings Based on Scenario Analysis. Research report prepared by the Center for Climate Change and Sustainable Policy (3CSEP) for the Global Best Practice Network for Buildings.
- [39] Ürge-Vorsatz D., Eyre N., Graham P., Harvey D., Hertwich E., Jiang Y., Kornevall C., Majumdar M., McMahon J. E., Mirasgedis S., Murakami S. and Novikova A. 2012b. Chapter 10 - Energy End-Use: Building. In *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, pp. 649-760. https://iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA_Chapter10_buildings_lowres.pdf

- [40] IPEEC BEET (International Partnership for Energy Efficiency Cooperation Building Energy Efficiency Taskgroup) 2014. Building Energy Rating Schemes: Assessing Issues and Impacts.
- [41] IPEEC/IEA (International Partnership for Energy Efficiency Cooperation and International Energy Agency) 2015. Building Energy Performance Metrics: Supporting Energy Efficiency Progress in Major Economies. Paris. <https://c2e2.unepdtu.org/wp-content/uploads/sites/3/2016/09/iea-ipeec-building-energy-performance-metrics.pdf>
- [42] Lucon O., Urge-Vorsatz D., Zain Ahmed A., Akbari H., Bertoldi P., Cabeza L. F., Eyre N., Gadgil A., Harvey L. D. D., Jiang Y., Liphoto E., Mirasgedis S., Murakami S., Parikh J., Pyke C., and Vilarino M. V., 2014: Buildings. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickemeier P., Kriemann B., Savolainen J., Schlomer S., von Stechow C., Zwickel T. and Minx J.C. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- [43] GlobalABC (Global Alliance for Buildings and Construction) 2018. *Inputs to the Talanoa Dialogue Provided by the Global Alliance for Buildings and Construction*. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/66_Talanoa%20Dialogue%20%20Input%20GABC-30%20March%202018.pdf.
- [44] UNEP (United Nations Environment Programme) 2018. A guide for incorporating buildings actions in NDCs. Job Nº: DTI/2225/PA. Disponible en español en: <https://collaborativeplatform.globalabc.org/uploads/media/default/0001/02/d487cfe16a5a5d681b7ab47a84a24a7058061d43.pdf>
- [45] UN Environment and GlobalABC (Global Alliance for Buildings and Construction) 2016. Global roadmap, towards low-GHG and resilient buildings. Nairobi. <https://globalabc.org/uploads/media/default/0001/01/0d6a71a346ea7e6841b1b29c77eba6d6ae986103.pdf>.
- [46] IEA-UNDP (International Energy Agency and United Nations Development Programme) 2013. Modernising Building Energy Codes, *IEA Policy Pathway*, OECD/IEA, Paris <https://webstore.iea.org/policy-pathway-modernising-building-energy-codes-2013>
- [47] Abergel T., Dean B., & Dulac J. 2017. *Towards zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector: Global status report 2017*. Global Alliance for Buildings and Construction, United Nations Environment Programme (UNEP) and International Energy Agency (IEA). Paris
- [48] IEA (International Energy Agency) 2019. *The Critical Role of Buildings - Perspectives for the Clean Energy Transition*. Paris. <https://www.iea.org/reports/the-critical-role-of-buildings>

- [49] C40 Cities 2018. *19 Global Cities Commit to Make New Buildings “Net-Zero Carbon” by 2030*, www.c40.org/press_releases/global-cities-commit-to-make-new-buildings-net-zero-carbon-by-2030.
- [50] Becqué R., Weyl D., Stewart E., Mackres E., Jin L., and Shen X. 2019. *Accelerating Building Decarbonization: Eight Attainable Policy Pathways to Net Zero Carbon Buildings for All*. Working Paper. World Resources Institute. Washington, DC. <https://www.wri.org/publication/accelerating-building-decarbonization>.
- [51] World Bank. 2019. *Roadmap for Implementation of Energy Efficiency in Public Buildings of Kyrgyz Republic (English)*. Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). World Bank Group. Washington, D.C.
<http://documents.worldbank.org/curated/en/640011547807634493/Roadmap-for-Implementation-of-Energy-Efficiency-in-Public-Buildings-of-Kyrgyz-Republic>
- [52] EBRD (European Bank for Reconstruction and Development) 2014. *Policy pathways in support of EE&RE deployment: barriers, solutions and lessons learned* presentation by Nigel Jollands and Dana Kupova at Expert Workshop: Policy Best Practices for Accelerating the Deployment of LowCarbon Energy and Climate Technologies, 23 September 2014, IEA, Paris.
- [53] IEA (International Energy Agency) 2014, *Energy Efficiency Policies for the SEMED-Arab Region: An energy efficiency experts’ roundtable report*, OECD/IEA, Paris.

3 El papel de los edificios en la política energética en la Unión Europea.

Las políticas sobre eficiencia energética de la Unión Europea (UE) son fiel reflejo de la evolución que se ha analizado en los capítulos anteriores, ya que la Comisión Europea ha participado activamente en la mayoría de los eventos internacionales, adaptándolas a las particulares propias como la necesidad de asegurar el abastecimiento, de reducir la dependencia externa y de generar nuevas oportunidades de crecimiento económico.

Por otro lado, la generación y uso de energía es el principal contribuyente a numerosos problemas ambientales, por lo que en las políticas energéticas también se añade la preocupación por la protección del medio ambiente, que desembocará en objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de desarrollo sostenible para así, finalmente, hacer frente al cambio climático.

Por tanto, la estrategia prioritaria durante estos años se ha centrado en la mejora de la eficiencia energética y en el sector de la construcción especialmente, fijando objetivos a cumplir en determinados plazos de tiempo, con el ánimo de avanzar hacia “una economía baja en carbono que garantice un sistema energético sostenible y competitivo”.

3.1 Primeros intentos de política comunitaria: El consumo racional de energía.

Se puede considerar que el primer marco de acción para una política energética europea fue establecido por la Comisión, en diciembre de 1968, a través de unas “directrices para una política energética comunitaria”, básicamente centradas en abordar el problema de la seguridad del suministro [1].

En consecuencia, durante los años 70, la cuestión era resolver los principales problemas para la Comunidad: “mantener un suministro de energía regular y estable que satisfaga la demanda en términos tanto de calidad como de cantidad”, y reducir la dependencia de las importaciones de energía [2]. En las propuestas de la Comisión del año 1972 se incluía, además del uso

racional de la energía, la protección del medio ambiente (en esencia, relacionado con los temas de contaminación atmosférica)⁷.

Las crisis del petróleo enfatizaron el problema de la dependencia de las importaciones de energía en los Estados miembros, por lo que la Comisión promovió estrategias de mejora en la eficiencia energética para consumir menos energía. Así, en 1974 (véase referencia [17] del capítulo 2), el Consejo acordó dentro de los objetivos de la política energética para 1985, “restringir la dependencia de la energía importada al 50% y aumentar el ahorro de energía”. Sin embargo, esos objetivos estaban lejos de alcanzarse, por lo que en 1978 la Comisión reelabora una nueva estrategia para 1990, esta vez sin referencia a indicadores numéricos [3]; y en 1981 pone en marcha un plan que garantice el suministro energético al menor coste, tomando “medidas tanto por el lado de la demanda energética (ahorro energético y uso racional de la energía) como por el lado de la oferta (diversificación) [4].

Para el sector de la Construcción, el Consejo realizó varias recomendaciones tales como el uso racional de la energía mediante la promoción del aislamiento térmico de los edificios (76/492/CEE) y en los sistemas de calefacción de los edificios existentes (76/493/CEE), o para la reducción de la demanda de energía de los edificios de la Comunidad (79/167/CECA, CEE, Euratom) (véase la tabla 3.2)

El informe sobre el programa para el ahorro de energía elaborado por la Comisión en 1979 [5] establecía la necesidad de que existan normas mínimas de rendimiento obligatorias vigentes en todos los Estados miembros para los nuevos edificios en uso residencial y de oficinas y que "los ahorros futuros requerirán cada vez más la inversión en nuevos equipos o edificios, o la modernización de los viejos"; y prevé que las mejores prácticas de diseño y tecnología rentables podrían ahorrar “hasta el 50% de las necesidades de energía primaria para los usos en los sectores doméstico y terciario” en el horizonte 2000 a 2020:

⁷ La Política Ambiental Comunitaria como tal quedó establecida mediante la puesta en marcha en 1973 del primer Programa de Acción sobre Medio Ambiente (I PMA). Los siguientes programas serán: II PMA (1977-1981), III PMA (1982-1986) y IV PMA (1987-1992); V PMA (1992-2000). VI PMA (2001-2012) y el VII PMA (2014 a 2020).

En este sentido, y dado que el consumo final de energía dichos sectores representó más del 38% del consumo energético total de la Comunidad en 1982, la Comisión analizó los objetivos y retos de una política europea para el uso racional de la energía en el sector de la construcción ante la existencia de “un considerable potencial de ahorro de energía en este sector, potencial que hasta ahora apenas se ha aprovechado” [6]. Se establecen 4 líneas de actuación: el fomento de la auditoría térmica de edificios para ayudar en la toma de decisiones para la rehabilitación energética; la necesidad de mejoras técnicas y regulaciones para la aumentar el rendimiento térmico de los edificios nuevos y los que se renueven; el uso óptimo de fondos; y la información al usuario. Se sientan así las bases de la futura regulación sobre eficiencia energética:

“La Comisión elaborará un código sobre ahorro energético en la edificación que se utilizará como “código de referencia” para toda la Comunidad. El código de referencia reunirá las normas técnicas, cualitativas y cuantitativas, y los procedimientos necesarios para alcanzar el nivel óptimo de consumo energético posible en el sector de la construcción.”

El Consejo volvió a establecer nuevos objetivos de política energética comunitaria en septiembre de 1986, esta vez con el horizonte en 1995 [7], adoptando como objetivo indicativo “lograr una eficiencia energética aún mayor en todos los sectores y actuar para resaltar las posibilidades específicas de ahorro de energía. La eficiencia de la demanda de energía final debería mejorarse en al menos un 20%”, para esa fecha, mediante el uso de las mejores tecnologías disponibles económicamente justificadas, equilibradas en materia de energía y medio ambiente; si bien la principal motivación seguía siendo la seguridad energética [8], ya que la dependencia de la UE de las importaciones de petróleo continuaba en aumento⁸.

Como se comentó en el capítulo anterior (véase la sección 2.3.2. *Cooperación para la acción global*), a finales de los años 80 se establece que la combinación de medidas de mejora de la eficiencia energética junto con el uso de energías renovables son la manera más eficaz tanto para la

⁸ La firma del Acta Única Europea en 1986 para reforzar la integración política europea y la creación de nuevas competencias de la Comunidad sirvió, entre otras cuestiones, para situar la protección del medio ambiente en el centro del desarrollo económico y social y la sostenibilidad de otras políticas, incluida la energética.

reducción de emisiones, como para hacer frente al cambio climático. Por tanto, la Comisión Europea toma esto en consideración y pasará a considerar que los problemas ambientales podían llegar a ser el principal condicionante del uso de la energía [9].

Igualmente influye la actividad internacional de la década de los 90 en torno al protocolo de Kioto y al cambio climático, de manera que la Comunidad Europea establecerá un amplio debate que identificara los “objetivos de la futura política energética” que se mantendrán hasta hoy: la competitividad global, la seguridad de abastecimiento y el medio ambiente [10]; reconociendo que “fomentar la eficiencia energética, no sólo contribuye a la protección del medio ambiente, sino también, y sobre todo, porque constituye la única respuesta consensuada al desafío de la dependencia energética.”

La Directiva "SAVE" ((Specific Actions for Vigorous Energy Efficiency) de 1993 [11], es una de las propuestas legislativas del primer paquete de medidas políticas para hacer frente al cambio climático (mejora de la eficiencia energética para limitar las emisiones de dióxido de carbono), y será la primera directiva que afecte al sector de la construcción de manera global. Requería promover la eficiencia energética en los edificios mediante programas como la certificación energética, para proporcionar información al consumidor; la facturación basada en el consumo real para calefacción, aire acondicionado y agua caliente; o la inspección periódica de instalaciones de calefacción de más de 15 kW; y establecía en su artículo 5 que los Estados miembros deben "elaborar e implementar un programa para que los nuevos edificios dispongan un aislamiento térmico efectivo", expresión que dejaba en manos de cada Estado miembro fijar el nivel mínimo pertinente en sus normas de construcción.

No obstante, ninguna de estas iniciativas logró el objetivo deseado debido a la diversidad del alcance de su implementación (en algunos casos inadecuada o muy débil) por parte de los diferentes Estados miembros en sus respectivos códigos o normas de construcción nacionales; o por la falta de la financiación adecuada [12].

3.2 Integración de la política ambiental en la política energética

Con el documento 'Fortalecimiento de la integración ambiental en la política energética comunitaria' [13], la Comisión planteó la sostenibilidad como principio general en el desarrollo de la política energética, y en este contexto fija las acciones para una mayor incorporación de las consideraciones ambientales.

Bajo este contexto y los acuerdos internacionales para reducir las emisiones de CO₂, las acciones para impulsar las mejoras en la eficiencia energética desempeñarán un papel clave en la UE para cumplir los objetivos del Protocolo de Kioto⁹ y hacer frente al cambio climático. Como ejemplo, la Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios (EPBD¹⁰ 2002 – Energy Performance Building Directive) [W1], que se analizará más adelante, establece en su considerando 3:

“El fomento de la eficiencia energética constituye una parte importante del conjunto de políticas y medidas necesarias para cumplir lo dispuesto en el Protocolo de Kioto, y debe estar presente en todas las medidas que se adopten con el fin de dar cumplimiento a nuevos compromisos.”

La Comisión elaboró entonces su primer Plan de Acción [14], que constituirá la justificación, de aquí en adelante, para todas las directivas sobre eficiencia energética. Este Plan se basará en las directivas anteriores como SAVE [11] y reforzará las disposiciones relacionadas con los edificios, incluyendo medidas para mejorar el aislamiento y exigencias para la calefacción.

El Libro Verde sobre la eficiencia energética o 'Cómo hacer más con menos' [W2] proporcionó un proceso de evaluación sobre cómo conseguir el objetivo de reducir el consumo de energía en un 20% para 2020, incluidos

⁹ 2002/358/CE: Decisión del Consejo, de 25 de abril de 2002, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo.

¹⁰ Se utilizarán las siglas EPBD para referirse a la Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios por ser más reconocidas en el ámbito de la Investigación.

los edificios; y de planteamientos para establecer rápidamente un plan de acción para la eficiencia energética en 2006.

Con la propuesta de la Comisión de este nuevo plan para el período 2007-2012 [W3], continuación del elaborado en 2000 [14], se establecen las medidas específicas sobre el consumo y el suministro de energía para reducir la demanda energética. Al contrario que lo que ocurriera con el anterior, en este sí se fija un objetivo, no vinculante, de reducción del consumo global de energía primaria: un 20% desde la fecha (2005) hasta 2020.

En la Tabla 3.1 se muestran los objetivos fijados por la UE en relación con la eficiencia energética hasta ese momento. Se incluyen los compromisos del Protocolo de Kioto ya que, como se ha comentado en relación al considerando 3 de la EPBD 2002, en ellos estaba implícito que cuanto menor es el consumo de energía en los edificios (menor consumo de combustible fósiles), menores son las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para la producción y el uso de esa energía.

Tabla 3. 1 Objetivos concretos de las políticas de la UE sobre eficiencia energética hasta 2005

Fecha	Acto	Objetivo	Fecha de referencia
16/09/1986	Resolución del Consejo, (86/241/01).	Mejorar la eficiencia energética un 20% para 1995, en comparación con los niveles de 1985.	1995
25/04/2002	Decisión del Consejo, (2002/358/CE)	Reducir las emisiones de GEI un 8% para el periodo 2008-2012, en comparación con los niveles de 1985	2008-2012
22/06/2005	Plan de acción para la eficiencia energética, COM (2006) 545 final.	Reducir el consumo de energía un 20% para 2020, en comparación con los niveles de 2005.	2020

3.3 Política energética europea a corto plazo (2020)

Con la consolidación de la energía como el elemento imprescindible de la Política Europea para contribuir a los retos de sostenibilidad, seguridad del

abastecimiento y competitividad, la Comisión elaboró a principios de 2007 la Comunicación “Una política energética para Europa” [W4] que, entre otras cuestiones, fijo varios objetivos, calificados en ese momento como a largo plazo (2020), con el fin de actuar contra el cambio climático, los conocidos como objetivos 20-20-20:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 20%, respecto al nivel de 1990.
- Conseguir que el consumo energético total de la UE proceda un mínimo del 20% de recursos renovables.
- Conseguir alcanzar un ahorro energético del 20% respecto al nivel de 1990.

Este último, en base a la energía primaria utilizada en comparación con los niveles esperados, en especial en los edificios, para los cuales establece que se deben realizar esfuerzos en “el desarrollo de tecnologías energéticas y para la eficiencia energética”. Si bien; este fue el único objetivo no vinculante, dada la dificultad de especificar el objetivo para cada Estado miembro.

Para garantizar el cumplimiento de estos ambiciosos objetivos para 2020, la UE estableció en 2008 el Paquete de Energía y Clima [W5], que puso en marcha a lo largo de 2009 un conjunto de legislación vinculante para los Estados miembros (Véase tabla 3.2), donde la eficiencia energética no contaba en las medidas políticas concretas por ese carácter no vinculante.

Sin embargo, la segunda revisión estratégica del sector de la energía de 2008 [W6] sí que establecerá la necesidad de un “nuevo impulso a la eficiencia energética”, para lo que propone revisar la EPBD 2002 al objeto, entre otras cuestiones, de “ampliar su alcance y simplificar su aplicación”; así como que:

“La Comisión elaborará principios comunes para definir los edificios con emisiones de carbono y consumo de energía bajos o nulos y, cuando proceda, propondrá medidas para aumentar el número de edificios de este tipo. Asimismo, es urgente impulsar la conversión de los edificios existentes.”

Se constata cómo la UE empieza a vincular sus prioridades energéticas también a la economía y al desarrollo de nuevas tecnologías innovadoras, de alto rendimiento, y con bajas emisiones de carbono.

3.4 Política energética europea a largo plazo (2050),

En 2011, la Comisión Europea estableció su primer objetivo realmente a largo plazo para esa transición rentable hacia una economía baja en carbono, la Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050 [W7]. Se fijó la reducción de los niveles de emisiones GEI entre un 80% y un 95% para 2050, comparando con los niveles de 1990. Estos porcentajes varían para los diferentes ámbitos nacionales, y deberán obtenerse de manera progresiva (hasta el 40% en 2030 y hasta el 60% en 2040), en todos los sectores que producen y consumen energía.

Para el caso del sector de la construcción los porcentajes varían entre un 88% y un 91%, debido a las "oportunidades baratas y a corto plazo de reducir las emisiones" de los edificios. Proponiendo que las nuevas edificaciones deben diseñarse "como *edificios inteligentes con un consumo energético bajo o casi nulo*" como se establece en la Directiva refundida relativa a la eficiencia energética de los edificios (EPBD 2010) [W8], mientras que para los edificios existente simplemente plantea el gran desafío que supone financiar las inversiones necesarias para la renovación.

Junto con la hoja de ruta, se publica el Plan de Eficiencia Energética 2011 cuyo objeto es "recuperar el retraso acumulado en el camino hacia el objetivo de la UE de ahorrar un 20% de energía" que permita conseguir el ideal, para 2050, "de una economía hipocarbónica y capaz de utilizar eficientemente sus recursos, y aumentar la independencia energética y la seguridad del abastecimiento".

Se insiste en que los edificios son los que mayor potencial de ahorro de energía presentan sin aprovechar, especialmente en el parque inmobiliario existente, por lo que uno de sus apartados principales es "preparar el terreno para *edificios con bajo consumo de energía*" (apartado 3):

"...Queda mucho potencial de ahorro de energía. Existen técnicas para disminuir el consumo de los edificios existentes un 50 % o un 75 % y para reducir a la mitad el consumo de energía de los aparatos que suelen utilizarse. Pero la tasa de renovación de los edificios es demasiado bajo, al igual que la incorporación de los aparatos más eficientes..."

A finales de ese mismo año se publicó una Hoja de ruta de la energía para 2050 [W9], que describe una serie de escenarios para la descarbonización

del sistema energético, planteando que “es esencial lograr una mayor eficiencia energética en los edificios nuevos y ya existentes. Los *edificios de consumo de energía casi nulo* deben convertirse en la norma”. Concepto, éste último, recién definido en la EPBD 2010 (*edificio de consumo casi nulo - Near Zero Energy Building NZEB*), [W8].

Abundando en esta estrategia para 2050 [W10], la comunicación de la Comisión de 2018, “Un planeta limpio para todos: la visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra”, plantea la actuación conjunta de siete componentes estratégicos principales, de los cuales uno implica maximizar los beneficios de la eficiencia energética para reducir el consumo de energía un 50% con respecto a 2005, con el fin de conseguir edificios de cero emisiones:

“...la principal reducción de la demanda de energía se producirá en los edificios, tanto en el sector residencial como en el de los servicios, que hoy en día son responsables del 40% del consumo de energía. Dado que la mayor parte del parque de viviendas que existirá en 2050 existe ya en la actualidad, harán falta tasas de renovación más elevadas;...”

La idea cada vez más clara de esa necesidad de actuar en la renovación energética del parque edificado que se pone aquí de manifiesto, es la misma que ya se había planteado tras la aprobación del texto refundido EPBD 2010, que no describió planes concretos de renovación, por lo que la Directiva 2012/27/UE de eficiencia energética (EED – Energy Efficiency Directive) [W11], tuvo que introducir en su articulado que los Estados miembros bebían desarrollar hojas de ruta para la renovación de los edificios; y es la misma que se desarrolla en el Pacto Verde Europeo¹¹ donde se promueve un “Uso eficiente de la energía y los recursos en la construcción y renovación de edificios”, emprendiendo una «oleada de renovación» de edificios públicos y privados [W12].

¹¹ Según la introducción: “Se trata de una nueva estrategia de crecimiento destinada a transformar la UE en una sociedad equitativa y próspera, con una economía moderna, eficiente en el uso de los recursos y competitiva, en la que no habrá emisiones netas de gases de efecto invernadero en 2050 y el crecimiento económico estará dissociado del uso de los recursos.”

3.5 Política energética europea, objetivos intermedios (2030),

En 2014, la UE establece un nuevo Marco de Energía y Clima para 2030 [W13], en base a las experiencias del paquete Clima y Energía 2020, y se fijan unos nuevos objetivos más ambiciosos:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un mínimo del 40%, respecto al nivel de 1990.
- Conseguir que el consumo energético total de la UE proceda un mínimo del 27% de energías renovables.
- Conseguir alcanzar un ahorro energético mínimo del 27% respecto al nivel de 1990.

Una vez más el objetivo de ahorro en base a la eficiencia energética será el único no vinculante, pasando de la propuesta de la Comisión Europea del 30%, al 27% por la presión de diferentes Estados miembros que proponían únicamente el 25% [15]. No obstante este objetivo indicativo se revisará para su posible aumento al 30% antes de 2020.

Los acontecimientos internacionales de 2015 como la COP 21 en París (referencia [W19] del capítulo 2), aceleraron la toma de decisiones de la UE en relación con la acción climática y por tanto la descarbonización de la economía [16]. Esto, unido a un nuevo sistema de gobernanza, se plasmó en la estrategia para la Unión de la Energía [W14], donde la eficiencia energética se plantea como contribución a la moderación de la demanda de energía con el principio de "primero, la eficiencia energética", con el sector de la construcción como uno de los sectores específico.

El 30 de noviembre de 2016, la Comisión Europea presentó un ambicioso paquete de propuestas en materia de energía limpia, el denominado "paquete de invierno" [W15]. Donde se establece el marco para mejorar la eficiencia energética en general (establece un objetivo vinculante a escala de la UE de un 30% de a 2030), y en los edificios, vuelve a destacar la importancia de la renovación y propone una financiación inteligente para edificios inteligentes. El paquete incluye la revisión de varios actos legislativos: la Directiva 2012/27/UE de eficiencia energética (EED- Energy Efficiency Directive), la Directiva 2010/31/UE de eficiencia energética de los edificios (EPBD 2010) y la Directiva 2009/28/CE de fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.

Con estas actualizaciones en 2018 (véase la tabla 3.2), la EPBD se encargará de acelerar la renovación económicamente rentable de los edificios existentes y la promoción de las tecnologías inteligentes en los edificios, y la EED establecerá el objetivo de lograr una mejora del 32,5% en la eficiencia energética para 2030 con la posibilidad de incrementarse aún más. En cuanto a la reducción de emisiones, los objetivos se mantienen porque están en la línea de conseguir una economía neutra en carbono para 2050, al igual que el porcentaje de energía renovable, por lo que finalmente los objetivos para el 2030 quedarán [W16]:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un mínimo del 40%, respecto al nivel de 1990.
- Conseguir que el consumo energético total de la UE proceda un mínimo del 32% de energías renovables.
- Conseguir alcanzar un ahorro energético mínimo del 32,5 %.

Tabla 3.2 Relación no exhaustiva de políticas relacionadas con el ahorro de energía y mitigación del cambio climático que afectan al sector de la construcción, incluidos los sistemas del edificio y los equipos.

Fecha	Política energética relacionada con edificios, sus sistemas o equipos
26/06/1974	COM(74) 550 final/2, Communication and proposals from the Commission. "Towards a new energy policy strategy for the European Community".
04/05/1976	76/492/CEE: Recomendación del Consejo relativa al uso racional de la energía mediante la promoción del aislamiento térmico de los edificios.
04/05/1976	76/493/CEE: Recomendación del Consejo relativa al uso racional de la energía en instalaciones de calefacción en funcionamiento en edificios.
25/10/1977	77/712/CEE: Recomendación del Consejo relativa a la regulación de la calefacción, la producción de agua caliente sanitaria y la medición de las cantidades de calor en los inmuebles de nueva construcción.
13/02/1978	Directiva 78/170/CEE del Consejo relativa a las prestaciones de los generadores de calor utilizados para calefacción de locales y producción de agua caliente en inmuebles no industriales nuevos o existentes, así como al aislamiento de la distribución de calor y agua caliente en inmuebles nuevos no industriales.
05/02/1979	79/167/CECA, CEE, Euratom: Recomendación del Consejo relativa a la reducción de la demanda de energía de los edificios en la Comunidad.
14/05/1979	Directiva 79/530/CEE del Consejo, relativa a la información, mediante el etiquetado, sobre el consumo de energía de los aparatos domésticos.

Fecha	Política energética relacionada con edificios, sus sistemas o equipos. Cont.
21/06/1979	COM(79) 313, Communication from the Commission. "Third Report of the Community's Programme for Energy Saving."
13/11/1984	COM(84) 614 final, Communication from the Commission. "Towards a European Policy for the Rational Use of Energy in the Building Sector."
16/09/1986	86/241/01, Resolución del Consejo relativa a los nuevos objetivos de política energética comunitaria para 1995 y a la convergencia de las políticas de los Estados miembros.
21/12/1988	Directiva 89/106/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción.
21/05/1992	Directiva 92/42/CEE del Consejo relativa a los requisitos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos.
13/09/1993	Directiva 93/76/CEE del Consejo relativa a la limitación de emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE)
13/12/1995	COM(95) 682 final, Libro Blanco. "Una política energética para la Unión Europea".
29/04/1998	COM(1998) 246 final, Comunicación de la Comisión. "Eficacia energética en la Comunidad Europea: hacia una estrategia de racionalización del uso de la energía".
26/04/2000	COM(2000) 247 final, Comunicación de la Comisión. "Plan de acción para mejorar la eficiencia energética en la Comunidad Europea".
29/11/2000	COM(2000) 769 final. Libro Verde - Hacia una estrategia europea para la seguridad del suministro energético
16/12/2002	Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios.
22/06/2005	COM(2005) 265 final, Libro Verde sobre la Eficiencia Energética; cómo hacer más con menos.
06/06/2005	Directiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía y por la que se modifica la Directiva 92/42/CEE del Consejo y las Directivas 96/57/CE y 2000/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
08/03/2006	COM(2006) 105 final, Libro Verde: Una estrategia europea para una energía sostenible, competitiva y segura {SEC(2006) 317}.
05/04/2006	Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo.
19/10/2006	COM(2006) 545 final, Comunicación de la Comisión, "Plan de acción para la eficiencia energética: Realizar el potencial".

3 El papel de los edificios en la política energética en la Unión Europea

Fecha	Política energética relacionada con edificios, sus sistemas o equipos. Cont.
10/01/2007	COM(2007) 1 final, Comunicación de la Comisión, “Una política energética para Europa”.
13/11/2008	COM(2008) 772 final, Comunicación de la Comisión. “Eficiencia energética: cumplimiento del objetivo del 20%”.
01/04/2009	COM(2009) 147 final, Libro blanco - Adaptación al cambio climático : hacia un marco europeo de actuación.
23/04/2009	DIRECTIVA 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
21/10/2009	Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.
19/05/2010	Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición).
19/05/2010	Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada.
10/11/2010	COM(2010) 639 final, Communication from the Commission. “Energy 2020 A strategy for competitive, sustainable and secure energy” (SEC(2010) 1346).
08/03/2011	COM(2011) 112 final, Comunicación de la Comisión. "Hoja de ruta hacia una economía competitiva hipocarbónica competitiva en 2050".
15/12/2011	COM(2011) 885 final, Comunicación de la Comisión. “Hoja de Ruta de la Energía para 2050”.
25/10/2012	Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE
22/01/2014	COM(2014) 15 final, Comunicación de la Comisión. “Un marco estratégico en materia de clima y energía para el período 2020-2030”.
25/02/2015	COM(2015) 80 final, Comunicación de la Comisión. Paquete sobre la Unión de la Energía: “Una estrategia marco para una Unión de la Energía resiliente con una política de cambio climático prospectiva”.
30/11/2016	COM(2016) 860 final, Comunicación de la Comisión. “Energía limpia para todos los europeos” (Paquete de Invierno).
30/05/2018	Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.
11/12/2018	Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.

Fecha	Política energética relacionada con edificios, sus sistemas o equipos. Cont.
11/12/2018	Directiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.
28/11/2018	COM(2018) 773 final, Comunicación de la Comisión. “Un planeta limpio para todos. La visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra”.
07/06/2019	(UE) 2019/1019, Recomendación de la Comisión relativa a la modernización de edificios.
18/06/2019	COM(2019) 285 final, Comunicación de la Comisión. “Unidos para contribuir a la Unión de la Energía y a la Acción por el Clima. Establecimiento de las bases para el éxito de la transición hacia una energía limpia” ({SWD(2019) 212 final} - {SWD(2019) 213 final}).

3.6 La formulación de políticas

Como se puede observar, la UE presenta una gran proliferación de planteamientos de políticas que afectan al sector de la construcción. Sin embargo, estas políticas no han conseguido en décadas desbloquear el potencial real de ahorro de energía de los edificios, y esto es debido, en parte, al propio proceso de formulación de la política, por lo que conviene explicarlo brevemente.

Aunque existen varios procedimientos para la elaboración de políticas en la UE, el que afecta a las cuestiones de energía y clima es el de codecisión (procedimiento legislativo ordinario tras el Tratado de Lisboa en 2009), donde La Comisión, el Parlamento y el Consejo Europeo actúan como instituciones colegisladoras [W17].

La iniciativa legislativa comunitaria corresponde fundamentalmente a la Comisión que, como representante de la UE en la mayoría de las reuniones internacionales mencionadas en el capítulo 2, publica la propuesta de política en base a la ambición de los objetivos de los acuerdos internacionales, pasando a continuación a un periodo de negociaciones entre el Parlamento y el Consejo, que tienen el derecho para modificar o enmendar dicha política. Como ejemplo, véase el desarrollo del proceso de codecisión para la aprobación de la EPBD 2018

EL papel de los intereses nacionales se realiza por los Estados miembros a través de su participación en el Consejo, donde tienen la posibilidad de

mejorar y/o simplificar el marco regulador, pero además, son responsables de la transposición y la aplicación efectiva.

En el caso concreto de las políticas climáticas y energéticas, generalmente el Consejo ha bloqueado o debilitado las propuestas de la Comisión, al igual que a las demandas del Parlamento, con marcos temporales de implementación demasiado largos o medidas demasiado flexibles.

Otro aspecto importante a la hora de elaborar las políticas, son los principios de subsidiariedad, por el que la UE sólo adopta medidas cuando se puedan regular de forma más eficaz en el ámbito europeo que en el nacional, y de proporcionalidad, por el que la UE se limita a las actuaciones estrictamente necesaria para alcanzar sus objetivos.

Igualmente, la ambición de las políticas se ha visto debilitada y/o mal implementada en base a la exigencia de los Estados miembros de respetar el principio de subsidiariedad [12, 16].

3.7 La Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios (EPBD- Energy Performance Building Directive 2002)

La EPBD se planteó en 2000, como el principal instrumento legislativo para que la construcción y uso de edificios en toda Europa redujera el consumo de energía, teniendo en cuenta la rentabilidad y las condiciones y requisitos locales.

Sus planteamientos generales parten de los establecidos por la comunicación de la Comisión en 1984 sobre el uso racional de la energía en los edificios [6], que serán revisados dentro de los acuerdos del protocolo de Kioto (nota el pie 3) y en base a una propuesta de mejora potencial en el rendimiento energético de los edificios que “podría equivaler a una reducción del consumo de energía del 22% en 2020 y un 46% en 2030” [17].

Como tal, la directiva EPBD 2002 [W1] sigue vigente, si bien ha sufrido una refundición en 2010 [W8] y una modificación en 2018, Directiva (UE) 2018/844 [W19], para aumentar su ambición y adaptarse a los avances normativos y tecnológicos; pero mantiene los aspectos prioritarios iniciales:

- Una metodología común para calcular el rendimiento energético integrado de edificio (no sólo el aislamiento térmico), teniendo en cuenta las condiciones climáticas y las peculiaridades locales.

- La exigencia de que los Estados miembros establezcan unas normas mínimas de rendimiento energético que se aplicarán a los edificios nuevos, y a los existentes cuando sean objeto de obras de reforma importantes.
- Un sistema de certificación energética de edificios nuevos y existentes, en la necesidad de hacer visible su consumo de energía a los compradores o inquilinos [18], y la exhibición de los certificados y otras informaciones relevantes en los edificios públicos.
- Un sistema de inspección regular de las calderas y las instalaciones de aire acondicionado para controlar su eficiencia energética y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Como se ha comentado en el apartado 3.6, el modelo de negociación previa a la aprobación de la Directiva, en diciembre de 2002, limitó demasiado su grado de ambición en la mayoría de los aspectos señalados, por lo que tuvo poco impacto en el rendimiento energético en general. En primer lugar, unos plazos de trasposición demasiado largos, 3 años desde su entrada en vigor (4/1/2003), que en el caso de las certificaciones y las inspecciones podía ampliarse otros 3 años (hasta 4/1/2009) justificando la falta de técnicos cualificados (artículo 15.2); el alcance limitado tanto a edificios nuevos, como a renovaciones de edificios de más de 1.000 m²; la propia ambigüedad de lo que significa renovaciones "importantes"; o la flexibilidad de las medidas que quedan a la libre interpretación de cada Estado miembro.

En definitiva, una aplicación lenta y poco exigente que no obtuvo los resultados deseados y que, por tanto, llevó a la preparación de la propuesta de su refundición antes de la fecha límite de implementación.

3.7.1 La refundición de la Directiva (EPBD 2010)

La Comisión volvió a plantear la necesidad de "materializar el potencial de ahorro energético adicional de los edificios", para lo cual refundió [W8] la EPDB de 2002, de la que mantuvo sus objetivos y principios fundamentales, ampliando el ámbito de aplicación para que la metodología de cálculo del rendimiento energético integrado también se efectúe a unidades del edificio; fortaleció dicha metodología en lo que se conoce como "marco

general común", permitiendo a los Estados miembros elegir entre los rendimientos energéticos evaluados para satisfacer las necesidades de calefacción y refrigeración, en condiciones de uso típicas, entre la energía anual calculada o la real que se consume, añadiendo además un indicador numérico de uso de energía primaria [19].

No obstante, y dado que ese momento el rendimiento energético mínimo adoptado por los diferentes Estados en las normas nacionales era poco ambicioso y lejos de ser óptimo de coste, introdujo la necesidad de establecer un "marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos" [W20].

Definió el concepto de renovación importante y eliminó el umbral de 1000 m² para los edificios existentes; y amplió el alcance de las obligaciones de inspección de las calderas a todas las partes accesibles de los sistemas de calefacción, fijando su regularidad es una función del tamaño, el tipo de combustible y la vida útil promedio del sistema.

En relación con el certificado de eficiencia energética (EPC - Energy Performance Certificate), el texto es mucho más extenso y con más detalles en cuanto a la definición y al contenido, por ejemplo, incluyendo recomendaciones de coste óptimo o rentables para la mejora, o el porcentaje en el consumo total de energía procedente de fuentes renovables, etc. Así mismo, introdujo artículos específicos sobre la emisión y la exhibición del certificado [20].

Pero la principal novedad de la refundición es la inclusión de la obligatoriedad de que, para 2020, los edificios nuevos "tengan un *consumo de energía casi nulo*" (2018 para edificios de la Administración), así como de "estimular la transformación de edificios que se reforman en *edificios de consumo de energía casi nulo*". Este nuevo concepto de edificio de consumo casi nulo (nZEB¹² – near Zero Energy Building) se analizará más adelante.

En ese mismo sentido, se pide a los Estados miembros que elaboren planes nacionales con la definición, el consumo máximo de energía en kWh/m² por año y las políticas e incentivos financieros para aumentar el número de nZEB para los diferentes tipos de edificios.

¹² Se utilizarán las siglas nZEB para referirse a los *edificios de consumo de energía casi nulo* por ser más reconocidas en el ámbito de la Investigación.

Como en la tramitación anterior, las negociaciones fueron debilitando la propuesta que, por ejemplo para nZEB, fijo unos plazos de trasposición largos nuevamente, y estableció una meta poco ambiciosa al denominarlos *edificios de consumo de energía casi nula*, cuando las tendencias internacionales debatían la apuesta por los *edificios de consumo de energía neta cero*. Además, se añade la ambigüedad del propio concepto de “casi nula”, que ha de adaptarse al contexto nacional, y por tanto definirse al criterio de cada Estado. Esto mismo es aplicable al nivel de eficiencia energética “muy alto” o la “contribución significativa” de energía procedente de fuentes renovables.

En cuanto a las renovaciones importantes, tampoco se proporcionaron incentivos claros para aumentar y acelerar las tasas de renovación [21]. La solución fue incluir en la EED de 2012 [W11] los requisitos para la renovación de parque de edificios públicos a una tasa del 3% anual (pero finalmente sólo para los del gobierno central).

La EPBD se complementó en 2012 con el marco metodológico comparativo definido en el artículo 5 y el Anexo III [W20] mediante el Reglamento Delegado (UE) Nº 244/2012, donde se establece un análisis de costo/beneficio financiero y macro-económico; y la Directrices que acompañan al Reglamento Delegado [W21]. En estas directrices se presenta un cuadro (Tabla 3.3) donde se detalla la manera recomendada para realizar de cálculo del rendimiento energético.

Tabla 3.3 Procedimiento para el cálculo del rendimiento energético conforme a las Directrices que acompañan al Reglamento Delegado (UE) no 244/2012 que complementa la Directiva 2010/31/UE

Paso	Cálculo del rendimiento energético desde las necesidades de energía netas hasta la utilización de la energía primaria
(1)	Cálculo de las necesidades energéticas térmicas netas del edificio para satisfacer las exigencias del usuario. La necesidad energética en invierno se calcula como las pérdidas de energía a través de la envolvente y la ventilación menos las ganancias internas (procedentes de electrodomésticos, sistemas de iluminación y ocupación) y las ganancias energéticas naturales (calentamiento solar pasivo, refrigeración pasiva, ventilación natural, etc.).
(2)	Sustracción de (1) de la energía térmica procedente de fuentes de energía renovables producida y utilizada in situ (por ejemplo, de placas solares).

Paso	Cálculo del rendimiento energético desde las necesidades de energía netas hasta la utilización de la energía primaria. Cont.
(3)	Cálculo de las utilizaciones de la energía para cada consumo final (calefacción y refrigeración de espacios, agua caliente, iluminación, ventilación) y para cada vector energético (electricidad, combustible) teniendo en cuenta las características (eficiencias estacionales) de los sistemas de generación, distribución, emisión y control.
(4)	Sustracción del uso de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables producida y utilizada in situ (por ejemplo, a partir de paneles fotovoltaicos).
(5)	Cálculo de la energía suministrada para cada vector energético como suma de los usos energéticos (no cubiertos por las fuentes de energía renovables).
(6)	Cálculo de la energía primaria asociada con la energía suministrada, utilizando factores de conversión nacionales.
(7)	Cálculo de la energía primaria asociada con la energía exportada al mercado (por ejemplo, generada por fuentes de energía renovables o cogeneradores in situ).
(8)	Cálculo de la energía primaria como la diferencia entre las dos cantidades calculadas anteriormente: (6) - (7).

Una vez más, ante la falta de avance hacia los objetivos de nZEB, en 2016, coincidiendo con la revisión prevista de la EPBD 2010, la Comisión presentó la Recomendación (UE) 2016/1318 “sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo”, donde se fijan los valores de referencia para la energía primaria (renovable, no renovable y neta) aplicables a la eficiencia energética de los nZEB (para unifamiliar y oficina), según las diferentes zonas climáticas de la UE (Tabla 3.4). Estas zonas climáticas se basan en el estudio presentado en 2013 por Ecofys para la DG Energía de la Comisión Europea titulado: “Towards nearly zero-energy buildings — Definition on common principles under the EPBD” [22].

Tabla 3.4. Valores de referencia para la energía primaria (EP) aplicables a los *edificios de consumo de energía casi nula* según las diferentes zonas climáticas de la UE.

	Tipo de edificio	EP neta	EP	EP renovable in situ
		kWh/(m ² /a)	kWh/(m ² /a)	kWh/(m ² /a)
Zona mediterránea	Oficina	20-30	80-90	60
	Unifamiliar	0-15	50-65	50
Zona oceánica	Oficina	40-55	85-100	45
	Unifamiliar	15-30	50-65	35
Zona continental	Oficina	40-55	85-100	45
	Unifamiliar	20-40	50-70	30
Zona nórdica	Oficina	55-70	85-100	30
	Unifamiliar	40-65	65-90	25

3.7.2 Modificación de la Directiva (EPBD 2018)

Los compromisos para la descarbonización en 2050 hace imprescindible la modernización del parque inmobiliario europeo, y esto ha llevado a la revisión de las dos directivas involucradas, la EPBD 2010, y la EED 2012, que se modifican mediante la Directiva (UE) 2018/844 [W18].

La Directiva reitera las enormes posibilidades de mejora de la eficiencia de los edificios existentes (residenciales y no residenciales, públicos y privados), por lo que el principal objetivo es acelerar su renovación rentable, y transformarlos en *edificios de consumo de energía casi nulo* para conseguir un parque inmobiliario descarbonizado en 2050.

También promueve el uso de tecnologías de la información y la comunicación y las tecnologías inteligentes a fin de garantizar el funcionamiento eficaz de los edificios y, en particular, requiere el establecimiento de un Indicador de preparación inteligente (SRI - Smart Readiness Indicator) que evalúa la capacidad del edificio para ajustar su operación a las necesidades del usuario y la interacción con las redes de energía locales para la gestión activa de la demanda energética; y proporciona información sobre consumo de energía y optimización del rendimiento general.

Se simplifican las inspecciones de las instalaciones de calefacción y aire acondicionado mediante la introducción de sistemas de control y automatización de los edificios, como alternativa eficaz a las inspecciones físicas; y se fomenta la movilidad eléctrica mediante requisitos específicos para instalar infraestructuras de recarga en los aparcamientos de los edificios, lo que permitirá utilizar la batería de los vehículos para el intercambio de energía a través de las instalaciones de autoconsumo y para el almacenamiento.

En cuanto a la metodología nacional de cálculo, Los Estados miembros podrán realizarlo con arreglo a los anexos nacionales de las normas marco, elaboradas dentro del Mandato 480 de la EU otorgado al Comité Europeo de Normalización (CEN). En concreto, las normas ISO 52000-1, 52003-1, 52010-1, 52016-1, y 52018-1 [23].

Nuevamente, la flexibilidad de los plazos de aplicación y la falta de objetivos vinculantes deja en manos de los gobiernos su traslado a su normativa nacional y por tanto una gran disparidad de criterios.

3.8 Edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB)

La EPBD 2010 define de forma básica el principio de *edificio de consumo de energía casi nulo* con las características que se irán analizando a continuación. No obstante, este tipo de concepto (edificio de energía cero, neta cero, casi nula, cero emisiones...) ha generado una gran cantidad de literatura sobre la amplia gama de términos y descripciones que no sólo no armonizan la definición sino que se van ampliando.

El liderazgo del desarrollo del concepto lo ostentan los Estados Unidos, donde los objetivos para la implementación de ZEB se establecen en el Energy Independence and Security Act (EISA 2007), y la Unión Europea, que estableció su definición en 2008, en la revisión de la EPBD. Los plazos y objetivos que se establecen en ambos documentos son diferentes: en Norte América se habla de edificios de energía cero conectados a la red, es decir edificios de energía neta cero (NZEB), con diferentes fases para conseguirlo entre los años 2030, 2040 y 2050; y en la Unión Europea, se refieren a edificios de energía casi nula (nZEB), con plazos establecidos a partir de 2018 y de 2020.

Actualmente, el concepto NZEB se ha extendido globalmente, lo que dificulta aún más su aplicación como concepto homogéneo en Contabilización y medición de la energía, límites del balance, etc. y, por tanto, su aplicación en la práctica. Sin embargo, se describen en este apartado las diferentes condiciones que afectan a la definición siguiendo el esquema planteado para las definiciones y metodologías de cálculo por Marszal y col. [24] y en el informe redactado por Ecofys [22]; el primero, por ser los más referenciados en el resto de evaluaciones y recopilaciones, y el segundo, por estar referido a la EPBD. También se han utilizado las publicaciones del proyecto conjunto SHC Task 40 / EBC Annex 52 Towards Net Zero Energy Solar Buildings [W22].

3.8.1 Revisión de definiciones y métodos de cálculo

Actualmente, los principales desafíos radican en conseguir una definición común y desarrollar una metodología que cuantifique el balance energético. Para alcanzar el reto de los edificios de energía cero en el futuro es fundamental desarrollar una metodología de cálculo que refleje el concepto y facilite el diseño de NZEB a arquitectos e ingenieros.

Igualmente, no existe un procedimiento de cálculo estandarizado sino propuestas desarrolladas para casos concretos. Las metodologías presentan diferentes características en cuanto a unidades, periodo y tipo de balance energético, tipos de energía en uso incluidas, opciones de suministro de energías renovables, energía primaria y factores de emisión de CO₂ así como otras características propias.

3.8.1.1 Unidad de medida del balance energético

Dependiendo de las medidas que se apliquen al edificio la unidad de medida del balance energético puede variar. Por tanto, pueden utilizarse varias unidades en la definición y en la metodología de cálculo. Por ejemplo: energía final, energía primaria, emisiones de CO₂ equivalentes, exergía, el coste de la energía u otros parámetros definidos por las políticas energéticas nacionales.

Torcellini et al. [26] señalan que la unidad de medida que se utilice estará influenciada por: los objetivos del proyecto, la intención del inversor (edificio de energía cero in situ, edificio de energía cero en la fuente), la preocupación por el clima y las emisiones de gases con efecto invernadero (edificio de emisiones de energía cero) y el coste de la energía (edificio de coste de energía cero).

Kilkis [27] cree que la unidad de medida debe expresar tanto la cantidad como la calidad de la energía que utiliza el edificio. Propone una nueva definición de ECC, en concreto de edificio de exergía neta cero:

“un edificio que tiene una suma total anual de transferencia de exergía cero más allá de los límites del sistema de energía del distrito en el que se encuentra el edificio, durante la transferencia de electricidad o de otro tipo de energía que tenga lugar en un periodo determinado.”

Mertz et al. [39] y Lautsen [28] sólo distinguen entre dos unidades: emisiones y energía, sin especificar si se trata de energía suministrada o primaria.

EPBD [W8] utiliza una definición clara en la que la energía primaria es la unidad de medida elegida para cuantificar el balance energético.

- Artículo 9.3: *“(...) incluya un indicador numérico de uso de energía primaria expresado en kWh/m² año. Los factores de energía primaria empleados para la determinación del uso de energía primaria podrán basarse en valores medios anuales nacionales o regionales (...)”*

- Artículo 2.5: *“«energía primaria»: energía procedente de fuentes renovables y no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación;”*

3.8.1.2 Sistema de contabilización

Clasificación de los sectores de demanda de energía que se incluirán en el balance: calefacción, agua caliente sanitaria, aire acondicionado, energías auxiliares, iluminación, servicios centrales, consumos de cada usuario (electrodomésticos, tomas de corriente, sistemas informáticos, etc.), energía incorporada y movilidad eléctrica.

En las primeras publicaciones sobre ZEB, publicadas en los 70 y 80, la mayor parte de la energía utilizada en un edificio se debía a calefacción,

refrigeración y agua caliente, por lo que la energía con fines térmicos era la única que se consideraba.

Iqbal [29] centra su definición de ZEB en el uso de electricidad. Mientras que Hernández y Kenny [25] proponen incluir en la definición de ZEB la energía incorporada del edificio en todo su ciclo de vida.

EPBD:

- Artículo 2.4 EPBD: *“«eficiencia energética del edificio»: cantidad de energía calculada o medida que se necesita para satisfacer la demanda de energía asociada a un uso normal del edificio, que incluirá, entre otras cosas, la energía consumida en la calefacción, la refrigeración, la ventilación, el calentamiento del agua y la iluminación.”*

- Preámbulo (9) EPBD: *“La eficiencia energética de los edificios debe calcularse con una metodología que puede ser diferente a escala nacional y regional. En ella se incluyen no solo las características térmicas, sino también otros factores que desempeñan un papel cada vez más importante, tales como las instalaciones de calefacción y aire acondicionado, la utilización de energía procedente de fuentes renovables (...)”.*

La mayoría de los métodos de cálculo revisados, consideran la energía total en uso, tanto la debida al edificio como al comportamiento del usuario, ya que la mayoría son edificios residenciales. La energía incorporada sólo la incluyen en el balance energético los métodos de la IEA SCH Task 40 [W22] y de Hernández y Kenny [25].

3.8.1.3 Periodo de tiempo del balance energético

Puede variar significativamente. Desde considerar el ciclo de vida completo del edificio, o su periodo de funcionamiento completo, por ejemplo 50 años, hasta considerar un periodo de un año, muy común, o incluso en situaciones especiales se hace un balance energético para una estación determinada del año o un mes concreto.

El balance energético anual es el más utilizado en las referencias revisadas, pero sería más apropiado considerar el ciclo de vida completo del edificio porque se incluiría en el balance energético tanto la energía en uso del edificio como la energía incorporada de materiales, del proceso de

construcción, de la posible demolición del edificio, y de sus instalaciones técnicas.

EPBD:

- Artículo 9.3a: *“(...) expresado en kWh/m² al año (...)”* se refiere a balance anual.
- Preámbulo, punto 9: *“(...) La metodología de cálculo de la eficiencia energética debe basarse no solo en las temporadas en que es necesario el uso de calefacción, sino que debe cubrir los resultados de eficiencia de un edificio a lo largo de año. (...)”*

3.8.1.4 Tipo de balance energético

Existen dos tipos de balances energéticos posibles: la energía en uso y la energía renovable producida, o la energía suministrada al edificio y la energía aportada a la red. El primer tipo es más fácil aplicarlo en la fase de diseño y el segundo en la fase de monitorización. El primero de los enfoques es el usado en la mayoría de las referencias revisadas.

EPBD/RED:

- Artículo 2.6: *describe la energía renovable como eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica y oceánica, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás. Todas ellas pueden medirse con medidores “normales” de energía.*
- Artículo 8.2: *“Los Estados miembros fomentarán la introducción de sistemas de medición inteligentes cuando se construya un edificio o se efectúen en él reformas de importancia (...)” Para monitorizar el flujo de energía neta en el punto de interacción con la red energética durante el funcionamiento del edificio se necesitan contadores inteligentes*

3.8.1.5 Opciones de suministro de energía renovable

Las fuentes de energía renovable pueden estar en el solar (sol, viento.) o ser transportadas desde el exterior (biomasa): suministro dentro del solar o fuera del solar.

Torcellini et al. [26] hacen una contribución significativa a este tema ya que proponen sub-opciones dentro de las dos comentadas antes. Para la energía renovable dentro del solar distinguen entre la proporcionada dentro de la huella del edificio y la proporcionada en el solar. Para el suministro desde fuera del solar, diferencia entre las fuentes de energía renovable exteriores al solar que se utilizan para producir energía dentro del mismo, y la adquisición de energía renovable producida fuera del solar.

La mayoría de las metodologías revisadas reconocen la energía renovable producida en la huella del edificio y en el solar. Sólo una trata de la energía producida fuera del solar. También llama la atención cierta ambigüedad al definir la energía renovable producida por la biomasa ya que algunos la consideran como dentro del solar y otros como fuera.

Marzsal et al. [40] recoge en un gráfico las diferentes opciones de suministro energético renovable en ZEB sugeridas en diferentes métodos de cálculo energético. No clasifica las diferentes opciones en orden jerárquico, sólo representa las distintas opciones existentes en métodos de cálculo energético internacionales. Las 5 opciones se ordenan según la localización del suministro energético renovable respecto del edificio.

EPBD:

- Artículo 2.2: *“(...) La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables (...)”*.

La Directiva (UE) 2018/2001 de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (versión refundida) (RED – Renewable Energy Directive), también menciona la exigencia:

- Artículo 13.4: *“los Estados miembros exigirán el uso de niveles mínimos de energía procedente de fuentes renovables en los edificios nuevos y en los ya existentes (...)”*.

3.8.1.6 Conexión con la infraestructura energética

El edificio de energía cero neta está conectado a una o más infraestructuras energéticas, por lo que tiene la capacidad tanto de abastecerse de esas redes como de aportar el exceso de energía que produce, sin necesidad de disponer de almacenaje de electricidad.

Lautsen [28] define el edificio de energía cero neta como:

“Los edificios de energía cero neta son edificios que durante un año son neutros, es decir, aportan a la red tanta energía como la que han consumido de la red. Visto así, no necesitan combustibles fósiles para calefacción, refrigeración, iluminación u otros usos energéticos, aunque a veces tomen energía de la red.”

Vale y Vale [33], Iqbal [29], Voss et al. [34], Platell y Dutzik [35] y Kramer et al. [36] han investigado tanto edificios autosuficientes como conectados a la red en Reino Unido afirman que:

“En el Reino Unido, con su densa población y su red nacional de electricidad, no tendría sentido abandonar los recursos que se han utilizado para crear esa red y reemplazarlos por nuevos recursos en forma de baterías para poder alcanzar una simbólica autosuficiencia.”

3.8.2 Requisitos

3.8.2.1 Requisitos de eficiencia energética

Laustsen [28] señala que, en principio, un ZEB puede ser un edificio convencional cuyo suministro energético provenga de un colector solar y unas placas fotovoltaicas, de manera que esos sistemas aporten más energía de la que necesita el edificio a lo largo del año. Este enfoque hacia edificios de energía cero es poco común. Sin embargo, solo unas pocas de las definiciones encontradas en las referencias revisadas aluden a la importancia de aplicar medidas de eficiencia energética en el edificio:

Torcellini et al. [26] cuando define el edificio de energía neta cero dice: “es un edificio residencial o comercial que reduce *significativamente sus necesidades energéticas mediante la eficiencia energética de manera que esa energía que necesita puede suministrarse de fuentes de energía renovable.*”

Iqbal [29]: “*La Casa de Energía Cero es una vivienda que combina de forma óptima las tecnologías de energía renovable disponibles en el mercado con las técnicas de construcción más vanguardistas en cuanto a la eficiencia energética.*”

BOLIG+ [W23] es un piloto demostrador danés de edificio de energía cero que cumple cinco reglas que unidas constituyen una definición de ZEB. La primera de esas reglas destaca que el edificio debe cumplir los requisitos de la clase 1 de baja energía [X], antes de aplicarle tecnología de energías renovables.

EPBD:

- Artículo 2.2: *“«edificio de consumo de energía casi nulo»: edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto (...)”*

RED:

- Artículo 15.4: *“(...) los Estados miembros podrán tener en cuenta las medidas nacionales relativas a incrementos considerables en la eficiencia energética y referentes a la cogeneración y a los edificios de baja energía, energía cero o energía pasiva.”*

3.8.2.2 Requisitos del ambiente interior

En las definiciones actuales de ZEB no se ha desarrollado bien este aspecto y la discusión ha sido más en torno a los aspectos energéticos.

En pocas de las definiciones encontradas se contempla este aspecto. Por ejemplo la de “Casa Activa” que relaciona los requisitos del ambiente interior con la iluminación natural, el aire fresco y la selección de los materiales. Y el proyecto BOLIG+ [W23] cuyos requisitos son más exigentes y considera un ambiente interior bueno y saludable aquel que utiliza la iluminación natural y controla suficientemente la iluminación artificial, ofrece suficiente temperatura y calidad del aire del ambiente interior y utiliza materiales saludables que favorecen una buena acústica y aislamiento acústico.

EPBD:

- Artículo 1.1: *“(...) la eficiencia energética de los edificios sitos en la Unión, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como las exigencias ambientales interiores y la rentabilidad en términos coste-eficacia.” Los requisitos del ambiente interior deben ser considerados. Y en Preámbulo (9) EPBD: “(...) La eficiencia energética de los edificios debe calcularse con una metodología que puede ser diferente a escala nacional y regional. En ella se incluyen no solo las*

características térmicas, sino también otros factores que desempeñan un papel cada vez más importante, tales como las instalaciones de calefacción y aire acondicionado, la utilización de energía procedente de fuentes renovables, los elementos pasivos de calefacción y refrigeración, el sombreado, la calidad del aire interior, la adecuada iluminación natural y el diseño del edificio.”

3.8.2.3 Requisitos de la interacción edificio-red

La mayoría de las definiciones actuales de ZEB olvidan dar detalles sobre este aspecto.

Kilkis [27] indica que debido a la diferencia de la calidad de la energía exportada e importada, la red suele estar en peor posición que el edificio. Propone hablar de edificios de exergía cero porque este concepto valora mejor las diferentes calidades de la energía.

El concepto BOLIG+ [W23] incluye entre sus cinco reglas una que se refiere a la interacción entre el edificio y la red. Afirma que la usabilidad de la energía que se vierta a la red deberá ser la misma que la de la energía que se tomó de la red.

3.8.2.4 Características comunes del nZEB

La energía primaria es la unidad de medida del balance energético más utilizada, aunque depende de los factores de conversión como consecuencia de cambios en la infraestructura energética, puede no tener en cuenta convenientemente las fuentes de energía renovables: agua, viento y sol. Otra unidad de medida utilizada son las emisiones de CO₂ equivalentes porque es en ésta unidad en la que se establecen los objetivos de reducción de emisiones nacionales/internacionales.

El periodo de cálculo del balance energético más aceptado es un año. Otro período a considerar es el ciclo de vida completo del edificio, incluyendo así la energía incorporada en el mismo en todas sus fases no sólo en uso.

En la mayoría de los métodos de cálculo, el tipo de energía a incluir en el balance energético es el consumo total de energía necesario para el funcionamiento del edificio. Los métodos de evaluación y certificación

energética sólo recogen la energía relativa al edificio, no la que depende del usuario ya que esta última tiene un alto grado de incertidumbre y no se tienen los suficientes datos para considerarla.

Otro tipo de energía que se puede considerar en el balance es la energía incorporada, ya que la progresiva reducción del consumo de energía en la fase de uso del edificio hará que este parámetro tenga cada vez más relevancia.

En cuanto a las opciones de suministro con energías renovables, lo más común es que se obtengan dentro de la huella del edificio o del solar en que se encuentra. Otras opciones son la compra de créditos de emisiones de CO₂ equivalentes o de energía verde de redes locales cercanas.

En definitiva todos los métodos para conseguir un nZEB pasan primero por reducir la demanda de energía del edificio con medidas de eficiencia energética. Por lo que es necesario poner un valor límite de la demanda de energía permitida, dependiendo del tipo de edificio, de su localización, de las normativas y de las condiciones climáticas (tanto para edificios nuevos como para existentes); combinado con la exigencia de determinados requisitos de eficiencia energética para componentes y tecnologías. También debería incluirse requisitos del ambiente interior.

3.9 El camino hacia una sostenibilidad efectiva en el sector de la construcción

A pesar de los esfuerzos de la UE, como ya se ha mencionado, por introducir la sostenibilidad de manera transversal a todas sus políticas. En el sector de la construcción, el avance es todavía más lento que la adopción generalizada de las medidas de eficiencia energética, o la consecución de que los edificios sean de consumo energético casi nulo.

Se exponen a continuación algunas de las acciones encaminadas a conseguir cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible, y que pondrán a los edificios en la senda de la descarbonización, la eficiencia de los recursos y la economía circular.

3.9.1 Calidad de ambiente interior (IEQ - Indoor Environmental Quality)

El aumento de los requisitos de aislamiento y estanqueidad de la envolvente de los edificios con el objetivo de incrementar su rendimiento energético, sin la incorporación de un sistema de ventilación adecuado puede deteriorar la calidad del ambiente interior (calidad del aire interior, confort térmico, lumínico y acústico), con los consiguientes efectos adversos para sus ocupante en la salud, el rendimiento y productividad e incluso el confort.

La EPBD hasta ahora no ha tenido esto demasiado en cuenta, quizás porque se orienta más hacia el sector residencial, y para no aumentar el consumo de energía y mantenerse en el ámbito NZEB; ya que en los edificio no residenciales, y en los públicos, las necesidades de ventilación mecánica, filtración adecuada del aire entrante, y el control de la temperatura ambiente, la humedad relativa, el nivel de CO₂, etc., suponen hasta un tercio de la energía operativa de esos edificios.

Para evitar o mitigar tales riesgos, durante el proceso de revisión de la EPBD, se manifestó un cierto consenso en todo el sector de la construcción sobre la necesidad de una guía de ventilación, común en toda la UE, que refuerce el establecimiento de requisitos y métricas de ventilación basados en criterios de salud, con estrategias de control de las fuentes de contaminación interiores y exteriores, incluidos los tipos de contaminantes a medir y sus niveles límite asociados [41]. Esto carencia se ha puesto lamentablemente en evidencia tras la pandemia del COVID-19, demostrando la falta de sistemas de ventilación (ya sea manual o mecánica) adecuados, y lo mismo podría aplicarse también a los otros parámetros de la calidad del ambiente interior.

3.9.2 Uso eficiente de los recursos

La Comisión Europea introdujo el Plan de Acción de Construcción 2020 [W24], su estrategia para la competitividad sostenible del sector de la construcción y sus empresas [42]. Esta agenda de política estratégica para el sector de la construcción en Europa se centra en la eficiencia de los recursos y la energía en el marco del objetivo temático 3.3 "Mejora de la eficiencia de los recursos, el rendimiento medioambiental y las oportunidades de empresariales"

En 2014, la Comisión planteó el debate sobre los objetivos e indicadores para evaluar la sostenibilidad de los edificios, junto con un marco con indicadores para el periodo 2014-2015, dentro de su comunicación sobre “oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción” [43]. Todo ello fundamentado en que la construcción y el uso de edificios representan, por un lado, aproximadamente el 50% de todos los materiales extraídos de la corteza terrestre y casi un 33% del consumo de agua [44]; y por otro, entre el 25% y el 30% de todos los residuos generados en la Unión Europea [45].

Las presiones ambientales surgen en todas las etapas del ciclo de vida de la construcción, incluida la fabricación de productos de construcción, el propio proceso constructivo, el uso de edificios, la renovación y la gestión de residuos. Por lo tanto, el sector de la construcción tiene potencial para realizar una contribución importante en términos de sostenibilidad ambiental.

3.9.3 Marco común para mejorar la sostenibilidad de los edificios: Level(s)

A finales de 2017, la Comisión Europea propuso establecer un marco voluntario común de información para mejorar la sostenibilidad de los edificios Level(s) [W25], utilizando las normas existentes (básicamente las normas CEN/TC 350 adoptados a nivel mundial para la construcción sostenible). Level(s), desarrollado por el instituto de investigación JRC y bajo la dirección del Departamento de Medioambiente, proporciona un enfoque de la Unión Europea para la evaluación del comportamiento medioambiental en el entorno construido.

La herramienta examina la huella de carbono del ciclo de vida completo de los edificios, desde la etapa de diseño hasta la operación y ocupación, para abordar su enorme potencial de reducción de emisiones; los flujos circulares de recursos, el apoyo a la salud y el bienestar, y la adaptación al cambio climático. El marco se ha desarrollado para edificios nuevos y existentes, así como para varios tipos de edificios residenciales y comerciales.

Referencias

Páginas web

- [W1] <https://www.boe.es/doue/2003/001/L00065-00071.pdf>, último acceso enero 2020.
- [W2] <http://www.ctas.es/pdf/documentacion/libroverde.pdf>, último acceso marzo 2020.
- [W3] <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0545:FIN:ES:PDF>, último acceso septiembre 2020.
- [W4] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A52007DC0001>, último acceso octubre 2020.
- [W5] https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es, último acceso marzo 2020.
- [W6] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:52008DC0781>, último acceso enero 2020.
- [W7] [https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com\(2011\)0112/com\(2011\)0112_es.pdf](https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com(2011)0112/com(2011)0112_es.pdf), último acceso octubre 2020.
- [W8] <https://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf>, último acceso enero 2020.
- [W9] <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0885:FIN:ES:PDF>, último acceso octubre 2020.
- [W10] https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es, último acceso mayo 2020.
- [W11] <https://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>, último acceso enero 2020.
- [W12] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640#ootnoteref17>, último acceso octubre 2020.
- [W13] <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2014:0015:FIN:Es:PDF>, último acceso septiembre 2020.
- [W14] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=COM:2015:80:FIN>, último acceso septiembre 2020.
- [W15] https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d2648a37-c626-11e6-a6db-01aa75ed71a1.0004.02/DOC_1&format=PDF, último acceso septiembre 2020.
- [W16] https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es, último acceso septiembre 2020.
- [W17] <https://www.consilium.europa.eu/media/29856/qc0415816esn.pdf>, último acceso octubre 2020.
- [W18] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/HIS/?uri=CELEX%3A32018L0844>, último acceso septiembre 2020

- [W19] <https://www.boe.es/doue/2018/156/L00075-00091.pdf>, último acceso enero 2020.
- [W20] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2012-80424>, último acceso enero 2020.
- [W21] <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2012:115:0001:0028:ES:PDF>, último acceso enero 2020.
- [W22] <https://task40.iea-shc.org/publications>, último acceso julio 2020.
- [W23] <http://www.boligplus.org/english>, último acceso septiembre 2020
- [W24] European Commission, Construction sector competitiveness, https://ec.europa.eu/growth/sectors/construction_en, último acceso septiembre 2020
- [W25] https://ec.europa.eu/environment/topics/circular-economy/levels_en, último acceso octubre 2020

Bibliografía

- [1] European Commission 1968. *First guidelines for a Community energy policy* (Supplement to bulletin nº. 12, COM (68) 1040, 18 December).
- [2] European Commission 1972. *Necessary progress in Community energy policy* (COM (72) 1200 final, 4 October).
- [3] European Commission 1978. *Energy objectives for 1990 and programmes of the member states* (COM (78) 613 final, 16 November).
- [4] European Commission 1981. *The development of an energy strategy for the Community* (COM (81) 540, 2 October).
- [5] European Commission. 1979. *Third Report of the Community's Programme for Energy Saving* (COM (79) 313 final, 21 June)
- [6] European Commission. 1984. *Towards a European policy for the rational use of energy in the building sector* (COM/1984/0614 final, 13 November)
- [7] Consejo de las Comunidades Europeas 1986. *Resolución relativa a los nuevos objetivos de política energética comunitaria para 1995 y a la convergencia de las políticas de los Estados miembros (86/C 241/01, 16 de septiembre).*
- [8] Boasson E. L., & Wettestad J., 2013. *EU climate policy: Industry, policy interaction and external environment*. Routledge. London
- [9] European Commission 1990, *Energy and the environment*, (COM (89) 369 final, 8 February).
- [10] Comisión Europea 1995, *Por una política energética de la Unión Europea – Libro verde*, (COM (94) 659 final, 11 de enero).
Comisión Europea 1995, *Libro Blanco de la energía – Una política energética para la Unión Europea*, (COM (95) 682 final, 13 de diciembre).

- [11] Consejo de las Comunidades Europeas 1993, Directiva 93/76/CEE, de 13 de septiembre, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE).
- [12] Henningsen J., 2011. Energy Savings and Efficiency, in V.L. Birchfield and J.S. Duffield (eds) *Toward a Common European Union Energy Policy: Problems, Progress, and Prospects*. Palgrave Macmillan. New York:
- [13] European Commission 1998, Strengthening environmental integration within Community Energy Policy, (COM (1998) final, 14 October).
- [14] Comisión Europea 2000, *Plan de acción para mejorar la Eficiencia Energética en la Comunidad Europea*, (COM (2000) 247, 26 de abril).
- [15] Buchan D. y Key M., 2014. The EU's new energy and climate goals for 2030: underambitious and over-bearing?". *Energy and Environment*.
- [16] Dupont C., 2016. *Climate Policy Integration into EU Energy Policy: Progress and Prospects*. Routledge, London.
- [17] Fraunhofer-Institute for Systems and Innovation Research (Fraunhofer ISI) and partners, 2009. Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States, Candidate Countries and EEA Countries. Final Report for the European Commission Directorate-General Energy and Transport.
- [18] Geissler M., Waldmann A. and Goldmann R., 2006. Market development for energy services in the European Union. In: Proceedings of the 2006 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. 14-18 August 2006, Asilomar, CA, USA
- [19] Burman E., Mumovic D., Kimpian J., 2014. Towards measurement and verification of energy performance under the framework of the European directive for energy performance of buildings. *Energy* **77**, 153–163.
- [20] Arcipowska A., Anagnostopoulos F., Mariottini F., & Kunkel S., 2014. Energy performance certificates across the EU. A mapping of national approaches. *Buildings Performance Institute Europe (BPIE)*. Brussels.
- [21] Economidou M., Atanasiu B., Despret C., Maio J., Nolte I., Rapf, O., ... & Strong D., 2011. Europe's buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings. *Buildings Performance Institute Europe (BPIE)*.
- [22] Ecofys 2013. Towards nearly zero-energy buildings- Definition on common principles under the EPBD, carried out by Ecofys for the European Commission, DG ENERGY. http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/nzeb_full_report.pdf
- [23] van Dijk D., and Hogeling J., 2019. The new ISO 52000 family of standards to assess the energy performance of buildings put into practice, *REHVA Journal*, **56**, Issue 3,
- [24] Marszal A.J., Heiselberg P., Bourrelle J.S., Musall E., Voss K., Sartori I. & Napolitano A., 2011. Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, **43**(4), 971–979.

- [25] Hernandez P., Kenny P., 2010. From net energy to zero energy buildings: defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB) *Energy and Buildings* **42** (6) 815–821.
- [26] Torcellini P., Pless S., Deru M., Crawley D., 2006. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition, in: ACEEE Summer Stud, Pacific Grove, California, USA.
- [27] Kilkis S., 2007. A New Metric for Net-zero Carbon Buildings, in: Energy Sustainability Conference, Long Beach, California.
- [28] Laustsen J., 2008. Energy Efficiency Requirements in Building Codes, in: Energy Efficiency Policies for New Buildings, OECD/IEA, Paris.
- [29] Iqbal M.T., 2004. A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland, *Renewable Energy* **29** (2) 277–289.
- [30] Torcellini P.A., Crawley D.B., 2006. Understanding zero-energy buildings, *ASHRAE Journal* **48** (9) 62–69.
- [31] Esbensen T.V., Korsgaard V., 1977. Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark, *Solar Energy* **19** (2) 195–199.
- [32] Rosta S., Hurt R., Boehm R., Hale M.J., 2008. Performance of a zero-energy house, *Journal of Solar Energy Engineering Transactions of the ASME* **130** (2) 0210061–0210064.
- [33] Vale, R. Vale, 2002. *The New Autonomous House: Design and Planning for Sustainability*, Thames & Hudson Ltd.
- [34] Voss K., Goetzberger A., Bopp G., Häberle A., Heinzl A., Lehmborg H., 1996. The self-sufficient solar house in Freiburg – results of 3 years of operation, *Solar Energy* **58** (1–3) 17–23.
- [35] Platell P., Dudzik D.A., 2007. Zero Energy Houses Geoexchange, Solar CHP, and Low Energy Building Approach, in: Energy Sustainability Conference, Long Beach, California.
- [36] Kramer, A. Krothapalli, B. Greska, 2007. The Off-grid Zero Emission Building, in: Energy Sustainability Conference, Long Beach, California.
- [37] Segers R., 2008. Three options to calculate the percentage renewable energy: an example for a EU policy debate, *Energy Policy* **36** (9) 3243–3248.
- [38] Sartori I., Napolitano A., Marszal A.J., Pless S., Torcellini P., Voss K., 2010. Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings, in: EuroSun Conference, Graz, Austria.
- [39] Mertz G.A., Raffio G.S., Kissock K., 2007. Cost Optimization of Net-zero Energy House, in: Energy Sustainability, California, USA.
- [40] Marszal A.J., Bourrelle J.S., Musall E., Heiselberg P., Gustavsen A., Voss K., 2010. Net Zero Energy Buildings – Calculation Methodologies versus National Building Codes, in: EuroSun Conference, Graz, Austria.
- [41] Kephelopoulos S., Geiss O., Barrero-Moreno J., D’Agostino D., & Paci D., 2016. Promoting Healthy and Energy Efficient Buildings in the European Union— National Implementation of Related Requirements of the Energy Performance

3 El papel de los edificios en la política energética en la Unión Europea

Buildings Directive (2010/31/EU). European Commission's Science and Knowledge Service: Brussels, Belgium.

- [42] Comisión Europea, 2012. *Estrategia para una competitividad sostenible del sector de la construcción y de sus empresas* (COM(2012) 433 final {SWD(2012) 236 final}, de 31 de julio).
- [43] Comisión Europea 2014, *Oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción* (COM/2014/0445 final).
- [44] European Working Group for Sustainable Construction, 2001. Sustainable construction final report.
- [45] BIO Intelligence Service, 2011. Management of construction and demolition waste in the EU. European Commission (DG ENV) service framework contract (ENV.G.4/FRA/2008/0112). Final report Task 2. http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/2011_CDW_Report.pdf

4 La sostenibilidad para el diseño de edificios

Como se ha visto hasta ahora, promover medidas de política de eficiencia energética tiene como propósito la reducción de la demanda de energía mediante un mejor rendimiento de la envolvente y los sistemas técnicos del edificio para, de esta manera, reducir los consumos y costes energéticos, reduciendo a su vez la dependencia de las importaciones de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

No obstante, desde hace tiempo el sector de la construcción también ha de hacer frente a los actuales desafíos relacionados con los impactos del cambio climático, la transformación del uso del suelo o el agotamiento de los recursos, entre otros; y se requiere muchas más acciones junto con el aumento en la eficiencia energética. Se debe analizar el uso de energía y las emisiones generadas en todo el ciclo de vida de los edificios, desde la obtención, fabricación y entrega de materiales de construcción, vinculados a la conservación de los recursos y el agua; hasta la gestión de su desmantelamiento minimizando los residuos y favoreciendo la reutilización y el reciclaje de sus materiales.

A nivel mundial el sector de los edificios es responsable de un tercio del consumo de recursos, incluido el 12% de todo el uso de agua [1]; lo que representa, por ejemplo, el uso de prácticamente la mitad de la producción mundial de acero y unos 3.000 millones de toneladas de materias primas cada año para la fabricación de los productos para su construcción y uso [2]. En Europa, este porcentaje aumenta hasta el 50% de todos los materiales extraídos y más del 30% del consumo de agua [3].

Paralelamente, la construcción y la demolición de edificios también representan entre el 25% y el 40% de todos los residuos generados en el mundo [W1]. Estos desechos implican “una pérdida significativa de minerales, metales y materiales orgánicos valiosos, por lo que hay una gran oportunidad para crear circuitos cerrados de los recursos en una economía circular” [W2] [4].

Por otra parte, las personas pasan casi el 90% de su tiempo en los edificios, por lo que es importante diseñarlos para la protección, la seguridad, la accesibilidad, la resiliencia y la adaptabilidad, pero también para las cuestiones relacionadas con la calidad del ambiente interior (calidad del aire

interior y confort térmico, acústico y visual) [5], asociadas a la salud, bienestar, productividad, etc. de las personas.

Si a todo esto se añade que el sector de la construcción representa más del 10% de los puestos de trabajo directos y supone casi el 9% del PIB de la Unión Europea [W3], son evidentes las implicaciones ambientales (energía y recursos eficientes), económicas (rentabilidad y menores costes durante el ciclo de vida) y sociales (seguridad y salud, empleo) de los edificios para alcanzar el desarrollo sostenible.

Esta dimensión pluridimensional de los edificios sostenibles (figura 4.1) implementa todos los aspectos relevantes de manera integrada: mejora el rendimiento energético global del edificio y no sólo en su fase de uso, reduce considerablemente el impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida; mejora las condiciones de salud y bienestar y las ganancias de productividad de los usuarios, y todo ello se traduce en ahorros de costos.

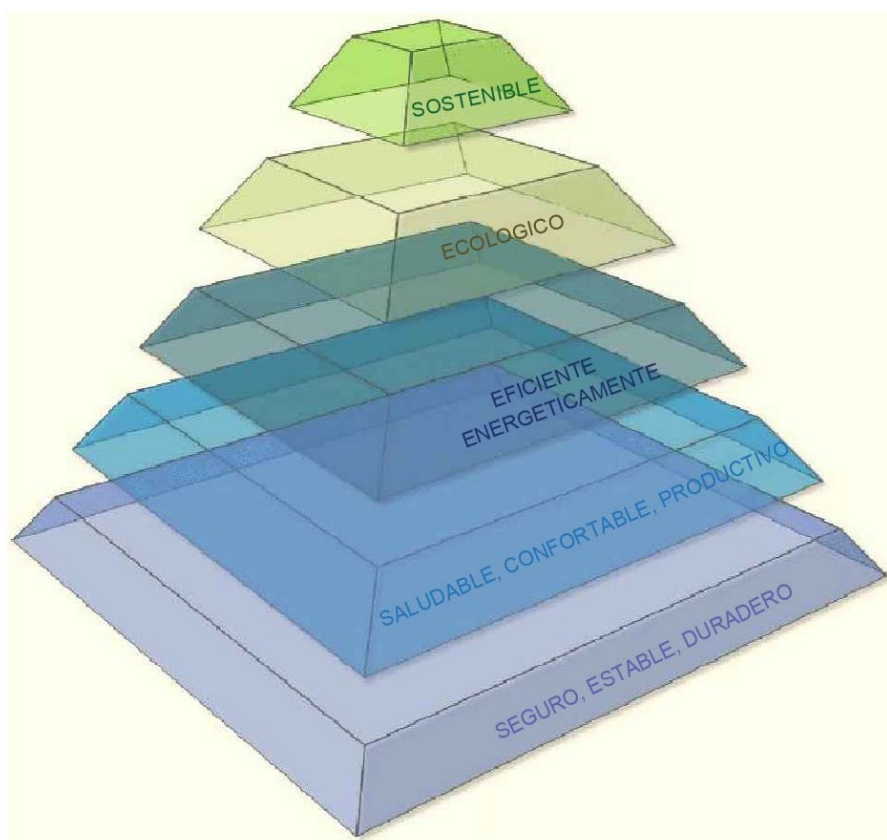


Figura 4.1 El concepto holístico de un “edificio eficiente” (© Universidad de Oporto)

Fuente: Ilustración obtenida de [6]

4.1 Estudio de caso: El edificio LUCIA. Edificio para Lanzadera Universitaria de Centros de Investigación Aplicada de la Universidad de Valladolid

La necesidad de una infraestructura para el establecimiento de empresas de base tecnológica o spin-off en el ámbito universitario, se ha aprovechado además para profundizar y desarrollar conocimiento experimental en el ámbito de la construcción de bajo impacto medioambiental; el empleo de energías renovables; y servir de referencia para los estudiantes, profesores universitarios relacionados y la comunidad en general.

Recién aprobada la refundida DIRECTIVA 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y el paquete "integrado" de medidas políticas sobre clima y energía de 2009, el proyecto, empezado a redactar en diciembre de 2010, trataba de "profundizar en los conocimientos sobre la eficiencia energética en la edificación, que aún se encuentran en pleno desarrollo, mediante la incorporación de soluciones no experimentadas e incluso la verificación y control de los métodos existentes, para ejemplificar cómo alcanzar la mayor sostenibilidad posible en el sector de la construcción."

Los objetivos principales consistieron en la aproximación por un lado al nuevo concepto introducido de "*edificio de energía casi nula*"; y por otro a la investigación sobre los aspectos sociales de la edificación sostenible; y la utilizando de energías renovables para la descarbonización de la edificación.

Las estrategias fundamentales se orientaron a: (1) reducir la demanda de energía y de la contaminación asociada en la fase de USO, mediante un diseño bioclimático que prioriza las medidas pasivas y la adaptación al clima local, pero también en la fase de CONSTRUCCIÓN y posible DEMOLICIÓN, mediante la selección de materiales y la gestión de la implantación en el solar; (2) reducir el consumo mediante el diseño de las sistemas técnicos y equipos altamente eficientes, de forma que únicamente se genere la energía necesaria en cada momento, apoyados con la integración de energías renovables; y (3) implementar un sofisticado sistema de monitorización y control que permita un reajuste y equilibrado permanente, a la vez que la verificación de los resultados. Todo ello manteniendo la funcionalidad y los máximos estándares de confort.

Para comprobar el grado de cumplimiento de estos objetivos se aplicó al edificio terminado herramientas de calificación y certificación por verificación de un tercero independiente: el sistema de evaluación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), gestionado por el Green

Building Council de EEUU y uno de los sistemas más extendidos internacionalmente [W4], y la herramienta VERDE^{GBC} gestionado por el Green Building Council de España [W5] (figura 4.2), obteniendo las máximas calificaciones en ambas, LEED-NC platino; y 5 Hojas respectivamente.



Figura 4.2 Fachada Sur del edificio LUCIA

Se analizarán las reducciones en demandas de iluminación (61%), calefacción (90%) y refrigeración (41%), que suponen una demanda final para el edificio de 81.82 kWh/(m² año) que incluye calefacción, refrigeración, ventilación, ACS y electricidad, según la modelización realizada con el sistema DOE-2 mediante el programa EQUEST3.64, que se comprobarán con una nuevo modelado calibrado con Design Builder, con motor de cálculo EnergyPlus, y se compararán con las mediciones de consumos reales.

El sitio web del edificio presenta una descripción del mismo, los conceptos para su diseño y el de los sistemas, y otra información relevante [W6].

4.2 Descripción general

El edificio está destinado a laboratorios para el desarrollo de actividades de I+D+i, con el objetivo de transferir los hallazgos científicos y productos innovadores al sector empresarial. Se diseña por tanto para ofrecer espacios funcionales y versátiles a los centros de investigación aplicada y empresas de base tecnológica, que permitan adaptarse a métodos de trabajo y necesidades espaciales diferentes simultáneamente, y a una demanda cambiante.

El programa de necesidades se desarrolla en 3 plantas sobre rasante, y cuenta con una planta bajo rasante (como semisótano que alberga los almacenes y cuartos de instalaciones, así como una zona de aparcamiento casi totalmente iluminada y ventilada de forma natural a través de 3 de sus fachadas). Esto supone una superficie total construida de 7.500 m², de los cuales algo más de 5.900 m² están climatizados (figura 4.3).



Figura 4.3 Distribución por plantas del edificio LUCIA

Cada planta se estructura en tres bandas longitudinales: las dos exteriores (fachadas Norte-Este y Sur-Oeste) agrupan los espacios de trabajo, mientras

que la banda central alberga todas las dependencias de servicio (aseos, vestuarios, almacenes, montacargas...), y los pasillos de distribución con los dos núcleos de comunicación vertical abiertos, que conectan todas las plantas mediante escaleras y ascensores, rematados con dos grandes lucernarios que permiten varias actuaciones de eficiencia como se verá más adelante. La colocación de patinillos de instalaciones “corridos” con salida a cubierta y apertura a lo largo de los pasillos facilita la instalación de cualquier equipamiento a los laboratorios, así como su sustitución, remodelación, modernización o cualquier otra actuación, en todo momento, sin incidencias o molestias al resto de dependencias.

Se estudió un módulo base de trabajo, que consta de un espacio central-laboratorio con dos despachos adosados, que se adapta en cada caso a las necesidades requeridas, pudiendo ampliarse o reducirse gracias a su configuración modular (figura 4.4).



Figura 4.4 Esquema 3D de la distribución en planta del edificio LUCIA

4.2.1 Diseño bioclimático.

4.2.1.1 Adaptación al entorno y clima local

El edificio LUCIA se encuentra en Valladolid España, (41°39'48.7" N, 4°42'15.7" O), a una altitud de 690 m sobre el nivel del mar, figura 4.5. El clima local está dominado por la calefacción con grandes fluctuaciones de temperatura diarias de aproximadamente 8 °C en invierno y 16 °C en verano sobre la temperatura media, pudiendo llegar en determinados momentos del año a fluctuaciones de 13 °C en invierno y 25 °C en verano. Además la temperatura rara vez es inferior a -4 °C o superior a 35 °C.



Figura 4.5 Esquema de ubicación e influencia del soleamiento y vientos dominantes

Tradicionalmente, los veranos son cálidos y soleados, y los inviernos son fríos y parcialmente nublados, si bien el pronosticado cambio climático hizo que se previera en el diseño el aumento de las temperaturas y la necesidad de mejorar la refrigeración pasiva. Esto ya ha sido corroborado por la Agencia Estatal de Meteorología (Aemet), que en un reciente informe prevé que la climatología en Valladolid “variará hacia inviernos más cortos, hacia

menos noches con heladas, y hacia veranos más sofocantes” [W7] y por la Agencia Europea del Medioambiente [7].

La ubicación del edificio en el Campus Miguel Delibes está condicionada por el planeamiento urbanístico del mismo, en una franja de terreno de 30 m x 75 m, que origina unas largas fachadas con orientación Este y Oeste, enfrentadas al resto de los edificios, por lo que no resultan adecuadas para favorecer las vistas hacia los jardines del campus, ni para garantizar las condiciones de confort a causa de las ganancias de luz natural. Por ello se redirigen los huecos, abriendo todos los espacios al Sur y al Este, las mejores orientaciones desde el punto de vista bioclimático y donde se encuentran las vistas con más horizonte.

4.2.1.2 Gestión ambiental de la urbanización exterior

Su situación en un entorno ajardinado requiere que la nueva construcción altere lo menos posible su biodiversidad. Para ello se diseña un pavimento filtrante en todo el aparcamiento, incluido el ubicado bajo el edificio a modo de planta semisótano. Este pavimento se asienta sobre una capa drenante de eco árido para gestionar las escorrentías así como la recuperación de agua de lluvia dentro de la gestión del agua que se verá más adelante (figura 4.6).



Figura 4.6 Vista del pavimento drenante de la planta de aparcamiento

Además de esto, para mejorar las condiciones del entorno exterior circundante, se integra vegetación autóctona y árboles de hoja caduca, lo que también se traduce en beneficios de tipo sensitivo (un aparcamiento abierto es mucho más agradable que uno cerrado). Estas decisiones evitan la necesidad de forzar la ventilación, la iluminación artificial, los equipos de seguridad, contra incendios y anti CO₂, de un aparcamiento cerrado (como en el resto del campus), reduciendo las cargas energéticas y económicas (figura 4.7).

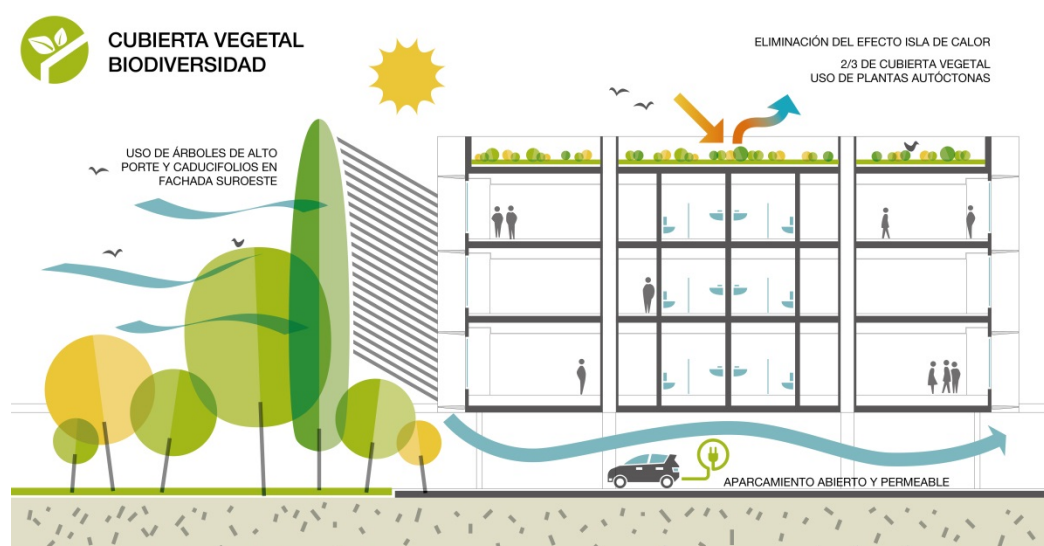


Figura 4.7 Vista de la cubierta verde y la zona ajardinada circundante

4.2.1.3 Efecto isla de calor

El edificio cuenta con un cubierta con vegetación tipo sedum en el 73,5% de su superficie, sin apenas mantenimiento, que mejora el aislamiento en invierno y ayuda a reducir la ganancia de calor en verano, con los consiguientes ahorros en costos de calefacción y refrigeración; pero cuya función va más allá al producir otros beneficios [8] como el aumento de la vida útil de los materiales de impermeabilización, filtrar los contaminantes del agua de lluvia y del aire, o proporcionar un hábitat para plantas, insectos y pájaros (figura 4.8).

La cubierta verde junto con el pavimento filtrante y la vegetación en el aparcamiento abierto contribuyen a crear un microclima favorable y reducen el efecto de isla de calor urbana [9, 10].



Figura 4.8 Vista de la cubierta verde y la zona ajardinada circundante

4.2.1.4 Compacidad.

El edificio presenta un factor de forma $0,37 \text{ m}^{-1}$ para sus 5.920 m^2 acondicionados, lo que supone una alta compacidad, para optimizar el área climatizada, disminuyendo la demanda de energía. La mejora de la compacidad como condición de diseño no implica un costo de ejecución, antes bien reduce la cantidad necesaria de materiales de construcción, y permite reducir las pérdidas de calor, los puentes térmicos o los problemas de sobrecalentamiento, proporcionando mejores condiciones de confort [11].

4.2.1.5 Diseño y forma de la fachada. Orientación

Como se ha comentado, la forma del solar exige largas fachadas en orientaciones Sur-Oeste y Norte-Este, por lo que se ha realizado un cuidadosísimo estudio de reorientación en el diseño de los huecos combinado con los aleros en las orientaciones soleadas. Esto define la forma en dientes de sierra de las fachadas. Los huecos, con este sistema, se orientan al Sur y al Este en una proporción del 89% de su superficie, lo que produce ganancias térmicas en invierno, un efecto de auto-sombreamiento en verano que reduce las cargas de refrigeración, y al mismo tiempo se asegura la iluminación natural (figura 4.9). Se estima que la reducción en la carga de refrigeración del edificio conseguida mediante este procedimiento de diseño es de un 24%, y se cifra en torno a los 40 kWh/(m² año).



Figura 4.9 La reorientación de los huecos: permite que el edificio “cierre” sus fachadas hacia el Norte (a), y las “abra” completamente hacia el Sur mientras se autosombrea (b)

4.2.1.6 Envolvente

Como se ha visto a lo largo de los capítulos anteriores, la eficiencia energética de los edificios se ha centrado en la optimización de la envolvente muy aislada y hermética mediante parámetros de diseño vinculados a la forma, la orientación, el aislamiento, el tamaño de ventana y la selección del acristalamiento, etc., con el objetivo de reducir la demanda de energía de calefacción principalmente.

La propia Directiva de la UE requiere que el edificio tenga muy bajas "necesidades de energía", para lo que se debe actuar primero en la envolvente del edificio. Sin embargo en su discusión sobre el alcance del objetivo de conseguir los edificios de consumo casi nulo, ha demostrado que "el aislamiento excesivo de la envolvente para reducir el consumo de energía en invierno puede provocar que los edificios se sobre-calienten en verano", provocando estándares de confort inadecuados para las personas. De igual modo, la hermeticidad excesiva sin la ventilación adecuada puede acarrear problemas de salud a los ocupantes de los edificios por moho, mala calidad del aire...

Por tanto, la envolvente del edificio juega un papel fundamental para desacoplar el ambiente interior de las condiciones exteriores, siendo el elemento de control para poder reducir el consumo de climatización e iluminación, y garantizar la calidad de ambiente interior, pero también para las condiciones de refrigeración [12], integrando técnicas pasivas de enfriamiento, que se vuelven especialmente importantes para los edificios del Sur y en especial del sector terciario donde predominan las altas cargas internas, como es el caso del edificio LUCIA.

4.2.1.7 Elevado aislamiento térmico

Los cerramientos exteriores presentan un aislamiento muy por encima de los mínimos exigidos en el momento de redacción del proyecto tanto por la normativa española CTE, como por la normativa ASHRAE (necesaria para la certificación LEED). Los coeficientes de aislamiento utilizados ($U=0,17$ W/m^2K en fachadas y $U= 0,15$ W/m^2K en la cubierta) son el resultado de optimizar el grosor del material de aislamiento para que, mediante la evaluación del Ciclo de Vida, los ahorros logrados en climatización superen

el nivel de energía incorporada, es decir, la necesaria para la producción y puesta en obra del material de aislamiento (figura 4.10) y (tablas 4.1 a 4.4).

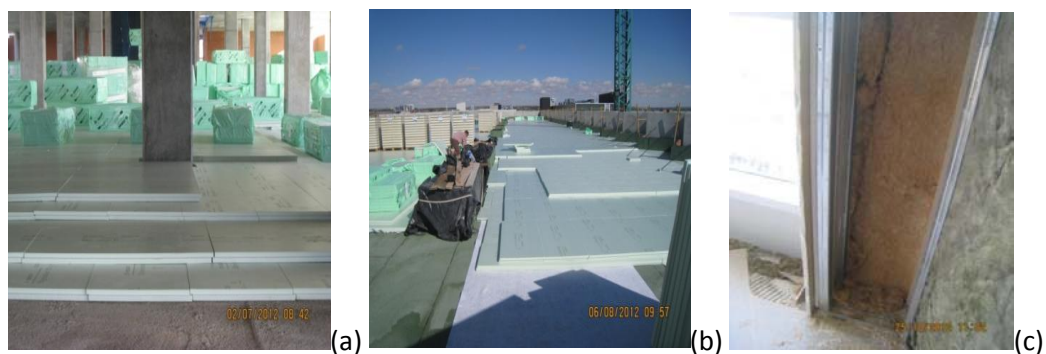


Figura 4.10 Aislamientos de la parte maciza de la envolvente: (a) sobre forjado de planta baja (20 cm XPS), (b) sobre forjado de cubierta (20 cm XPS), (c) tras los bloques prefabricados de hormigón de fachada (14 cm fibra de madera)

Tabla 4.1 Características de los elementos del cerramiento de cubierta: espesor (e), conductividad térmica (λ) y resistencia térmica (R); y transmitancia térmica total (U)

CUBIERTA VEGETAL del edificio LUCIA						W/m^2K	
Elemento	e (m)	λ (W/mK)	$R=e/\lambda$ (m^2K/W)	R_{si} (m^2K/W)	R_{se} (m^2K/W)	ΣR	$U=1/\Sigma R$
Forjado hormigón	0,30	2,500	0,120				
Hormigón ligero de form. pendiente	0,06	1,350	0,044				
Lamina impermeable	0,00	0,250	0,008				
Fieltro	0,00	0,170	0,009				
XPS 35kg/m ³	0,20	0,035	5,714				
fieltro	0,00	0,170	0,009				
capa drenante	0,02	0,170	0,118				
fieltro	0,00	0,170	0,009				
sustrato vegetal	0,10	0,520	0,192				
	0,69		6,223	0,100	0,040	6,363	0,157

Tabla 4.2 Características de los elementos del cerramiento macizo de fachada: espesor (e), conductividad térmica (λ) y resistencia térmica (R); y transmitancia térmica total (U)

CERRAMIENTO MACIZO del edificio LUCIA							W/m ² K	
Elemento	e (m)	λ (W/mK)	R=e/ λ (m ² K/W)	Rsi (m ² K/W)	Rse (m ² K/W)	ΣR	U=1/ ΣR	
a panel hormigón	0,05	1,90	0,026					
b panel EPS	0,06	0,036	1,667					
c panel hormigón	0,05	1,90	0,026					
aislante lmv	0,14	0,036	3,889					
cámara aire n/v	0,05	0,18	0,278					
placa carton yeso	0,015	0,25	0,060					
			5,946	0,130	0,040	6,116	0,164	

Tabla 4.3 Comparativa de transmitancia térmica total (U) de los cerramientos opacos en la normativa de redacción del proyecto*, la actual y la del edificio LUCIA

CERRAMIENTOS OPACOS						
			CTE 2008*	ASHRAE 2007	Edificio LUCIA	CTE 2019
Aislamiento	Fachada	W/m ² .K	0,66	0,36	0,17	0.41
	Cubierta		0,38	0,27	0,15	0.35
	Solera		0,49	0,22	0,16	0.41

* CTE vigente en el momento de redacción del proyecto (RD 1371/2007, de 19 de octubre (BOE 23/10/2007) y corrección de errores (BOE 25/01/2008))

Tabla 4.4 Comparativa de la transmitancia térmica total (U), factor solar y relación ventana-pared del cerramiento acristalado en la normativa del momento de redacción del proyecto*, la actual y la del edificio LUCIA

CERRAMIENTOS ACRISTALADOS						
			CTE 2008*	ASHRAE 2007	LUCIA	CTE 2019
Aislamiento	Sur	W/m ² .K	3,40	2,84	1,10	1.80
	Norte		2,20	2,84	1,10	1.80
	O y E		2,60	2,84	1.10	1.80
Factor solar		%	54,00	40,00	62,00	
Prop/macizo		%	60,00	40,00	46,00	

A parte del aumento del espesor del aislamiento, es importante su correcta colocación de manera que permita eliminar completamente los puentes térmicos. Se coloca el aislamiento de manera continua en la dirección vertical del muro, empezando por debajo del aislamiento sobre el forjado de planta baja, y terminando por encima del aislamiento sobre el forjado de planta de cubierta, siempre por delante de la estructura del edificio, ya que los bloques prefabricados de hormigón de la fachada están sujetos con separadores a modo de fachada volada. De igual modo, para garantizar también la continuidad del aislamiento horizontalmente, el diseño de los prefabricados permite que el aislamiento conecte directamente con el marco de la ventana, que funciona como un muro cortina, por lo que además también se garantizan la hermeticidad (figura 4.11).

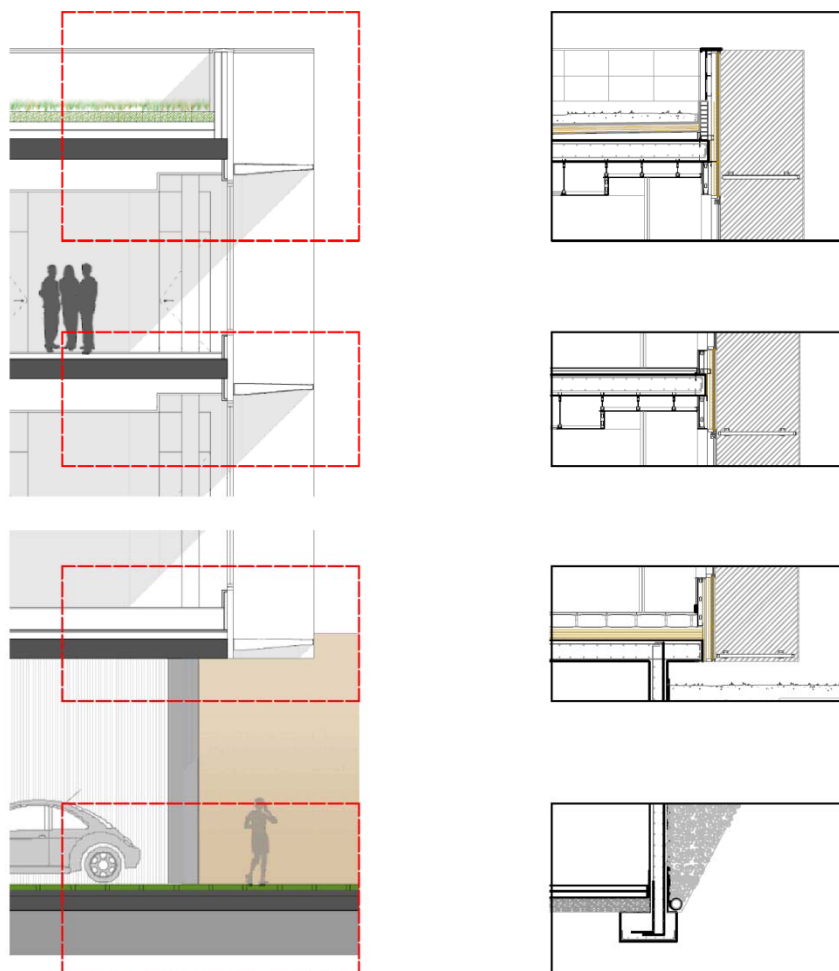


Figura 4.11 Detalle constructivo de la continuidad de aislamiento y carpintería para evitar puentes térmicos

4.2.1.8 Luz natural y confort visual

La iluminación natural tiene efectos beneficiosos sobre la salud y el bienestar, y sobre la productividad [13], de ahí que las personas que utilizan los edificios tiendan claramente a preferir ventanas en su entorno para la iluminación y vista al exterior [14]. Por estas razones, las ventanas del edificio LUCIA se realizan de suelo a techo de forma que se aumente la sensación de entrada de luz natural (figuras 4.12 y 4.13) y se garantizan las vistas desde cualquier zona de los laboratorios. Además, las ventanas son operables para favorecer la ventilación natural si los usuarios lo estimaran necesario.

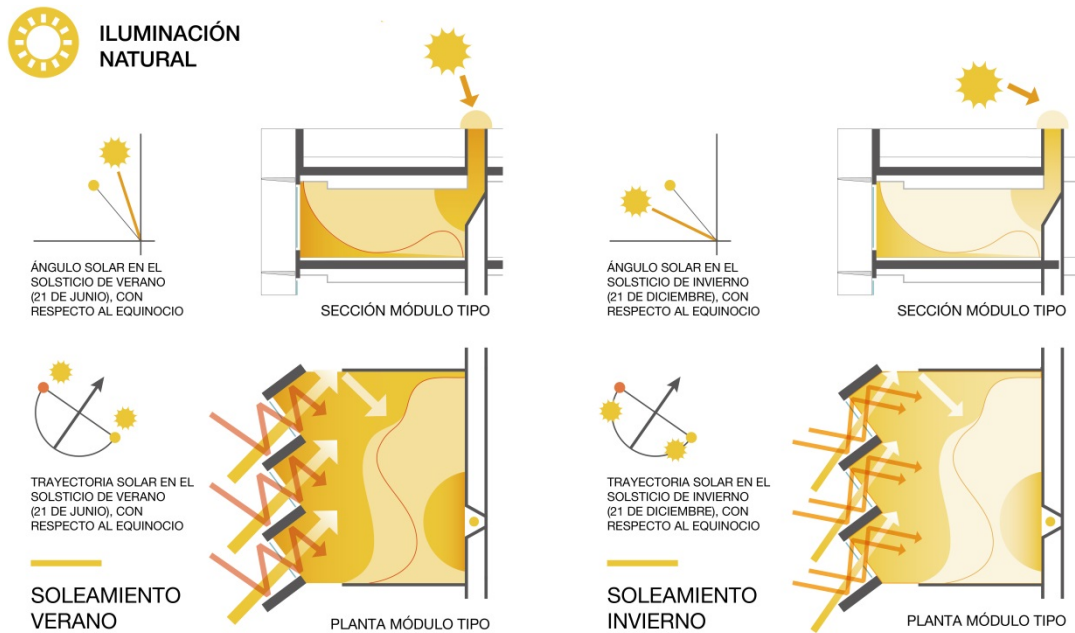


Figura 4.12 Esquemas de ganancia de luz natural en los espacio de trabajo

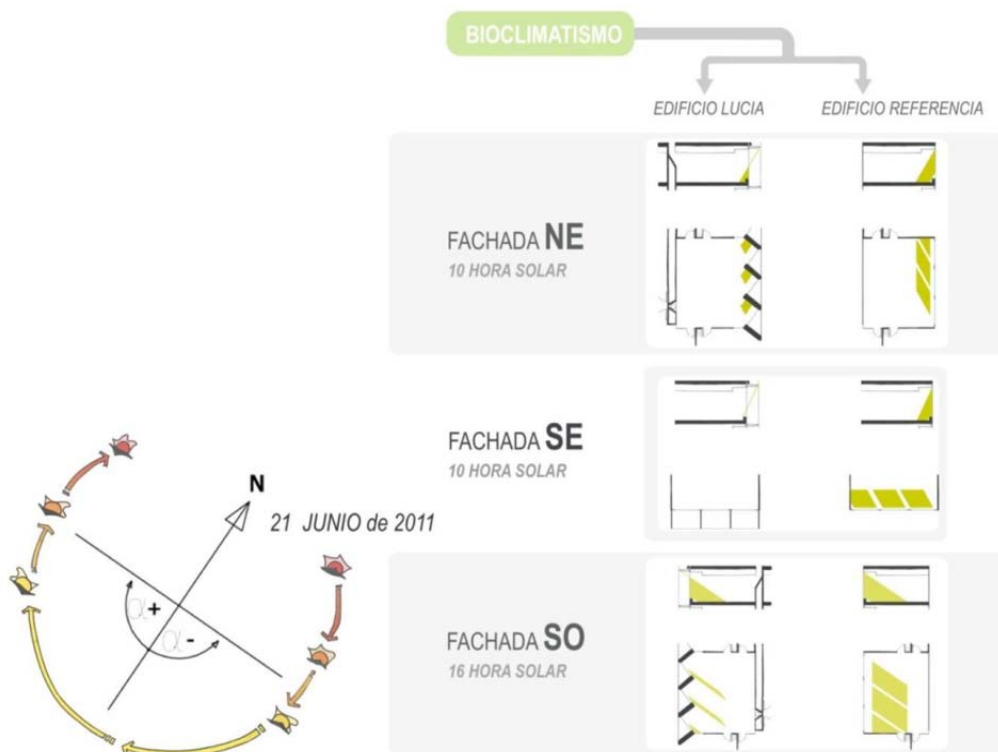


Figura 4.13 Comparativa de las ganancias solares evitadas por girar la fachada en relación con una disposición similar con la fachada recta un día con gran intensidad de sol (21 de junio) en diferentes horarios y para las diferentes fachadas

Como se ha visto al hablar de la forma, las fachadas longitudinales se diseñan en forma de dientes de sierra para que las partes acristaladas queden orientadas totalmente al Sur y al este para maximizar la entrada de luz, mientras que las partes opacas evitan las ganancias solares no deseadas, sombreando las acristaladas en los momentos de mayor incidencia solar, ayudado por unos parasoles metálicos horizontales (figura 4.14). En la fachada Sur, que no tiene esa forma “quebrada”, en las zonas de laboratorios, el sombreado se consigue mediante unos grandes paneles verticales de hormigón que sobresalen del edificio a los que se añaden también los verticales metálicos; mientras que en la zona central se instala una doble piel acristalada, que se explicará más adelante.



Figura 4.14 Fachada Oeste. El sol incide plenamente sobre la parte ‘recta’ de la fachada (a la derecha), mientras las ventanas giradas están sombreadas

Por otra parte, las posibles molestias visuales debido al exceso de entrada de luz natural, se solucionan fácilmente mediante la colocación de cortinas interiores de lamas verticales accionables por los usuarios, que pueden abrirse y/o girarse parcial o totalmente para aprovechar la luz y las vistas. Sin embargo, las observaciones muestran que los ocupantes tienden a no ser activos con estos sistemas y pueden quedar cerrados [15].

La decisión de realizar un edificio compacto obliga a aumentar la iluminación natural en los espacios interiores, por lo que se han colocado lucernarios sobre los cuerpos de escaleras, que se describirán más adelante, y pozos de luz (27 unidades Solatube) que permiten que la luz natural llegue desde la cubierta a zonas interiores (figura 4.15). Los beneficios obtenidos por este sistema son excelentes, ya que se trata de elementos estáticos, que utilizan simplemente el efecto del reflejo de la luz incidente, por lo que no requieren energía para su funcionamiento. Según la simulación realizada, los 146,190 kWh anuales para iluminación que necesitaría el edificio de referencia (criterio ASHRAE), se reducen en el edificio LUCIA a 74,790 kWh gracias a estos dispositivos y los sistemas de control.



(a)



(b)

Figura 4.15 Pozos de luz. (a) Captadores exteriores de luz natural (en primer plano, uno para la planta baja; detrás, otro para la planta primera y otro para la planta segunda), y el lucernario Norte al fondo. (b) Aportación de luz natural al interior del laboratorio mediante un pozo de luz (arriba izquierda).

4.2.1.9 Ventilación natural

La ciudad de Valladolid tiene normalmente temperaturas en las noches de verano más bien bajas, por lo que se plantea dos modos posibles de ventilación nocturna. Para ello se utilizará otro aspecto del diseño bioclimático de los lucernarios, permitir sistemas pasivos de refrigeración nocturna (figura 4.16). El edificio realizará estos procesos de ventilación cuando las condiciones exteriores y la temperatura interior lo aconsejen, con el objetivo de reducir las necesidades de refrigeración diurnas, o durante los días de verano para eliminar la acumulación de calor sin necesidad de refrigeración mecánica.

Se colocaron ventanas practicables automatizadas en los lucernarios del edificio (figura 4.17), actuando a modo de shunt y facilitando la ventilación cruzada; que permiten dos modos de funcionamiento: natural o forzado mediante el uso del climatizador (con o sin ayuda de los pozos canadienses, o en modo free cooling):

- Modo 1: Ventilación nocturna sin apoyo de climatizador. Solo se utilizarán los dos shunts con efecto chimenea y ventilación natural cuando haya demanda de refrigeración.



Figura 4.16 Esquema del sistema de ventilación nocturna

- Modo 2: Ventilación nocturna con climatizador y aire exterior: Para potenciar el funcionamiento de los shunts, se utilizará la impulsión

del climatizador principal para aumentar el caudal de aire exterior a circular.

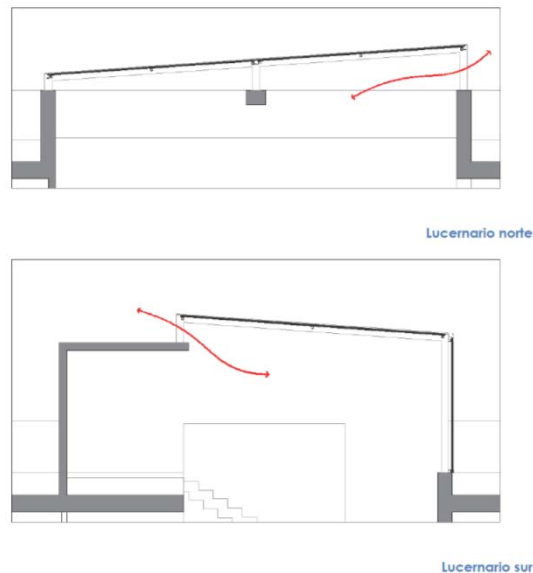


Figura 4.17 Esquema del sistema de ventilación nocturna

4.2.2 Energías renovables

Una vez establecidas las condiciones de diseño del edificio que permiten minimizar la demanda de energía, se pretende que la energía que es necesario aportar sea sobre todo de origen renovable, para minimizar aún más el impacto ambiental del consumo de energía. Las energías renovables desempeñan un papel cada vez más importante en el suministro de energía primaria y se integran en el edificio para apoyar la reducción de consumo eléctrico en general mediante la producción fotovoltaica, la reducción del consumo eléctrico en ventilación y climatización mediante el uso de la geotermia para el uso en calefacción y agua caliente sanitaria.

Aunque en el diseño original del edificio se puede introducir una máquina de absorción que permite el uso del agua caliente producido por la biomasa, esto sólo es económica y ambientalmente factible en períodos dominados por la calefacción, pero con momentos en los que se necesita.

4.2.2.1 Geotérmica.

Intercambiador tierra-aire: estrategias para la reducción de consumo de energía para ventilación

El entorno del edificio proporciona recursos energéticos a tener cuenta, que permiten limitar al máximo posible su consumo de energías no renovables. El terreno presenta la capacidad de almacenar energía y gracias a la estabilidad de la temperatura en su interior, donde la oscilación térmica es sensiblemente baja, puede ser utilizado como fuente o sumidero de calor. Véase los esquemas de la figura 4.18.

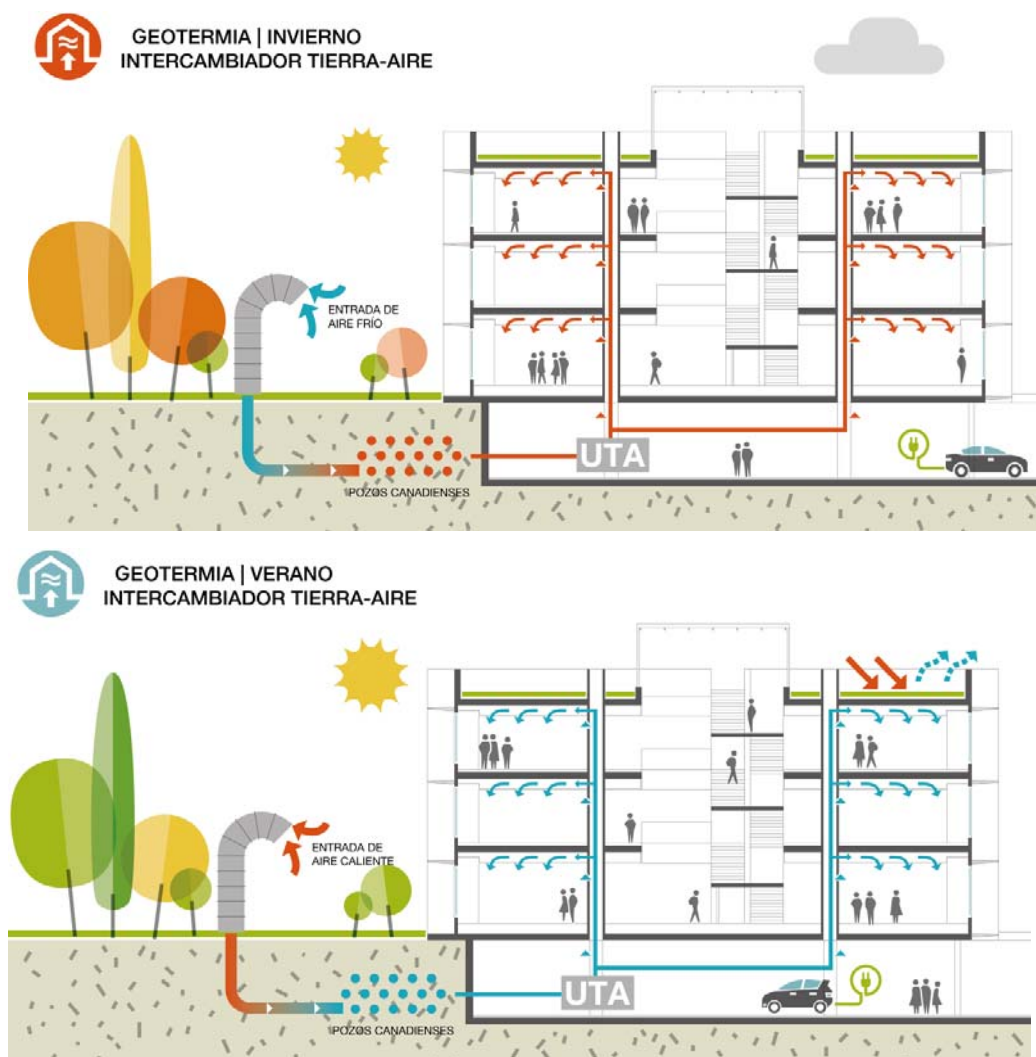


Figura 4.18 Esquemas de funcionamiento de los pozos canadienses en invierno (parte superior) y en verano (parte inferior)

Los niveles de ventilación que deben ser considerados para garantizar la calidad del aire interior suponen, dependiendo del tipo de edificio, un tercio o más del consumo energético. Por ello, y con el fin de reducir esa demanda de energía asociada a la necesidad de renovación del aire interior se ha diseñado un sistema para el aprovechamiento de ese potencial energético del terreno, los intercambiadores tierra-aire (EAHX, earth-to-air heat exchangers), también conocidos como pozos geotérmicos de baja potencia, pozos canadienses o pozos provenzales. Básicamente pre-acondicionan el aire de renovación antes de introducirlo en el edificio. Mediante un sistema de impulsión perteneciente al climatizador, el aire exterior se introduce al terreno a través de tres tomas debidamente protegidas (figura 4.19), que conducen a un plenum del que salen unas canalizaciones enterradas, donde se produce el intercambio de calor entre el aire y el terreno, hasta llegar al interior de otro plenum en el edificio a climatizar, desde donde pasa a la unidad de tratamiento de aire.



Figura 4.19 Diferentes fases de la construcción de los pozos canadienses: (a) remates de las tomas de aire exterior hacia el plenum de entrada, (b) entrada de las tomas de aire exterior al plenum previo a los tubos; (c) colocación de los tubos en el terreno; (d) plenum de entrada al edificio.

El funcionamiento de estos sistemas es muy sencillo y eficiente, pero deben calcularse con precisión cuando se utilizan en edificios con un gran volumen de aire a tratar, para garantizar los parámetros de calidad del aire y evitar el riesgo de que se produzcan condensaciones. Además, es necesario conocer el comportamiento del terreno a la profundidad en la que se pretende instalar el intercambiador realizando mediciones, o al menos aproximar el comportamiento a partir de las temperaturas medias mensuales y las características del terreno, utilizando la ecuación de calor en régimen transitorio para un medio semi-infinito. Conocidas, o al menos aproximadas, las propiedades térmicas del terreno es posible realizar un estudio de las temperaturas en su interior y analizar el comportamiento del conjunto terreno-tubos enterrados en régimen dinámico (véase “Fundamentos térmicos del terreno” de la Guía del IDAE [16]).

Para el diseño se optó por colocar los tubos anexos al edificio de forma que fuera fácil su mantenimiento y modificación posteriores en su caso, ocupando el espacio de separación con el edificio colindante, el caudal de renovación estimado fue de 15.000 m³/h, por lo que el diseño óptimo que corresponde al que mayores aportes térmicos proporciona con el mínimo coste de inversión inicial, funcionamiento y mantenimiento consistió en 52 tubos de 18,00 m. La simulación energética E-Quest de proyecto estima su aportación energética en 25.000 kWh térmicos, si bien las mediciones efectuadas en los últimos años han llegado a cuadruplicar esa cifra.

Las canalizaciones están perfectamente acopladas y selladas con todos los elementos que componen el sistema y en toda su longitud para lograr la estanqueidad. En la elección del material se ha valorado su resistencia mecánica, a la corrosión, y su permeabilidad, también otras cuestiones como la rugosidad de las paredes, que aunque mejoran el proceso de transferencia de calor, penaliza los cálculos hidráulicos, y pueden ser origen de contaminación bacteriana. En cuanto al diseño de la red, al realizarse un sistema de canalizaciones en paralelo, se garantizan unas distancias mínimas entre tubos de forma que el terreno entre ellas sea suficiente como para que no existan interferencias ni saturación térmica.

Procedimiento para el dimensionado del intercambiador de calor enterrado.

1.-Calcular la temperatura del terreno.

1.1.-Obtener las temperaturas, media, máxima y mínima ambiente.

1.2.-Obtener el valor medio de la amplitud de la variación de la temperatura superficial.

1.3.-Obtener la difusividad del terreno.

1.4.-Obtener máximos, mínimos y desfase.

$$T(z, t) = Tm + Ae^{-z\sqrt{w/2\alpha}} \quad \text{Máximo} \quad [w(t + A) - z\sqrt{w/2\alpha}] = \frac{\pi}{2}$$

$$T(z, t) = Tm - Ae^{-z\sqrt{w/2\alpha}} \quad \text{Mínimo} \quad [w(t + A) - z\sqrt{w/2\alpha}] = \frac{3\pi}{2}$$

1.5.-Calcular gráfica de temperatura a la profundidad Z.

2.-Determinar los periodos y horas de funcionamiento del sistema.

2.1.-Obtener temperaturas medias horarias exteriores.

2.2.-Obtener incremento Tmedia suelo-Tmedia horaria-externo por profundidad.

3.-Calcular la resistencia del conjunto aire-tubo-terreno.

3.1 Calcular la resistencia térmica del conducto.

3.2 Calcular la resistencia térmica del aire.

3.3 Calcular la resistencia del terreno.

$$3.3.1 \quad R_s = re^{0,696} \alpha^{0,109} / 6,889kt^{0,14} \quad \text{Universidad Chile}$$

$$3.3.2^* \quad R_{s1} = \frac{1}{4\pi k} (\ln t - \ln \left(\frac{re^2}{4\alpha}\right) - \gamma) \quad \text{Método IDAE } (\gamma \text{ constante Euler } (0,57722157))$$

$$R_{s2} = \frac{1}{4\pi k} (\ln t - \ln \left(\frac{De^2}{4\alpha}\right) - \gamma) \quad D \text{ distancia entre tubos (centros)}$$

$$R_s = R_{s1} + R_{s2}$$

**El método del IDAE resulta más conservador y contempla la interferencia entre tubos, así como con el exterior, si bien este segundo lo despreciamos ya que calculamos con temperaturas de terreno a profundidad.*

4.-Calcular la temperatura de salida del aire.

5.-Calcular la energía intercambiada entre el terreno y el aire.

6.-Análisis de la viabilidad económica. Análisis de costes del ciclo de vida.

4.2.2.2 Fotovoltaica

La energía fotovoltaica se plantea integrada en el edificio (BIPV, Building Integrated PhotoVoltaics), es decir, como un elemento más del sistema constructivo, reemplazando a otro material [17]. Su implantación se realiza en el vidrio de los lucernarios sobre las escaleras y en el vidrio de la hoja exterior del muro cortina de doble piel en la fachada Sur-Este. Se trata de una tecnología multifuncional ya que, además de generar electricidad, funciona como un cerramiento acristalado protegiendo del clima y el ruido y, cuando se usan sistemas semitransparentes, permite la transmisión de la luz natural, proporciona sombreado y reduce las ganancias de calor solar. Es por ello, que es la principal tecnología para generar electricidad “in situ” en *edificios de consumo casi nulo*, ya que se puede utilizar para cubrir superficies de techos y fachadas con orientaciones óptimas.

Autoconsumo

La instalación fotovoltaica genera energía eléctrica en cualquier momento en el que exista irradiación solar dentro de los umbrales de funcionamiento de los módulos, por lo tanto, prácticamente durante todo el día, la instalación está en disposición de entregar energía al edificio. Para integrar la instalación eléctrica fotovoltaica de manera más eficiente se conecta la instalación fotovoltaica en la cabecera de los cuadros eléctricos secundarios que garanticen que toda esa energía va a ser consumida por las cargas conectadas a ese cuadro, es decir, que el consumo del cuadro sea mayor en todo momento a la energía fotovoltaica entregada, que el cuadro aguante la potencia de generación y que las horas de consumo de ese cuadro y un alto tiempo de utilización a lo largo del día. Para ello se debe realizar un estudio de cargas de la instalación convencional para conocer el tipo de consumo del edificio teniendo en cuenta los parámetros de estacionalidad, consumos diurnos y nocturnos, compensación de fases, compatibilidad con otras fuentes de alimentación o necesidades de demanda de energía locales necesarias o prioritarias.

Para este caso concreto se utilizaron los cuadros de planta que alimentan zonas comunes, con una demanda energética superior a la aportada desde la instalación fotovoltaica, lo que garantizaba el consumo diario.

Para evitar el vertido de energía a la red exterior del edificio en los momentos en los que no exista consumo, pero sí generación, se realiza una

pequeña instalación de control de suministro cuya finalidad es la de abrir el circuito de generación analógicamente dejando la tensión del sistema en circuito abierto y sin generar energía.

Integración en lucernarios

Como se ha comentado, el edificio tiene dos lucernarios sobre las escaleras de comunicación para introducir luz natural al interior del edificio. Esta decisión acarrea la necesidad de plantearse un sistema de sombreado para evitar las correspondientes ganancias solares, por lo que se decidió sustituir las dos dispositivos (lucernario y sombreado) por un lucernario de vidrio fotovoltaico semitransparente.

Se trata pues de tres áreas: la correspondiente al lucernario Norte, y dos correspondientes al lucernario Sur ya que funciona además como chimenea solar por lo que está sobre-elevado y tiene también fachada de vidrio fotovoltaico (una cubierta y una fachada); con diferentes superficies y orientaciones y, por tanto, diferentes potencias fotovoltaicas instaladas, por lo que cada una tiene su propio inversor solar monofásico que opera de forma independiente y no afecta el rendimiento de los demás (figura 4.20).



Figura 4.20 Lucernarios sobre las escaleras: (a) Sur, (b) Norte

El vidrio fotovoltaico, situado en la cara exterior del acristalamiento permite, por un lado, obtener diferentes porcentajes de transparencia (del 0%, opaco, al 40%), que condicionan la potencia nominal (a mayor transparencia, menor potencia fotovoltaica) y la entrada de luz y, por tanto, de calor (a menor transparencia, menor entrada de luz y calor al interior); y

por otro, actuar como un filtro que absorbe la mayoría de la radiación ultravioleta y de las radiaciones infrarrojas, asegurando el confort térmico interior. Por tanto, se seleccionó dicha transparencia en función del grado de iluminación natural y confort deseado que permita mayor producción eléctrica. En este caso, del 10%.

Para mejorar el confort térmico de los usuarios, en los lucernarios se ha utilizado triple vidrio laminado con cámara de aire y doble laminado interior bajo emisivo (Figura 4.21). La cámara de aire actúa como una resistencia al paso de la energía, y por otra parte, la utilización de un vidrio bajo emisivo conlleva que las radiaciones de longitud de onda larga procedentes de fuentes de calor se reflejen en el acristalamiento y vuelvan al interior. De este modo, el valor de transmitancia térmica resultante es muy bajo ($U=1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) por lo que se reduce el intercambio de calor entre el exterior y el interior del edificio, disminuyendo la demanda de calefacción y refrigeración. Al mismo tiempo, se incrementa el nivel de aislamiento a ruido de la solución. Cada área se compone de un conjunto de vidrios de 2850 x 1245 mm, un espesor total de 37,57 mm, y un peso de aproximadamente 62,5 Kg/m².

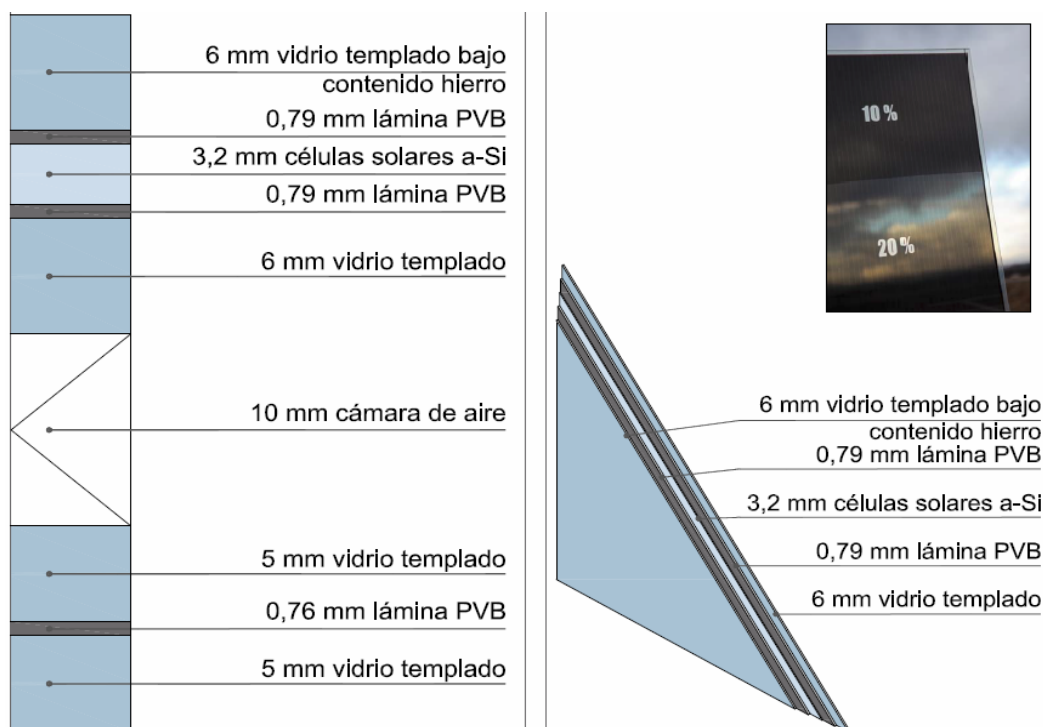


Figura 4.21 Composición del vidrio triple fotovoltaico.

Fuente: Onix solar [W8]

Las potencias máximas de generación en corriente alterna a 230V y 50Hz de cada una de las áreas son: 3.000 W (lucernario Norte con 18 vidrios), 2.000 W (lucernario Sur con 12 vidrios) y 1.200 W (fachada Sur con 6 vidrios); por lo que la potencia total instalada es de 5,2 kWp (39,5 Wp/m²), lo que supone una generación energética anual estimada de 5.552 kWh, evitando la emisión de 3,87¹³ toneladas de CO₂ (figura 4.22).

Las Tablas 4.5 y 4.6 describen las características generales y para cada composición, respectivamente, de la instalación fotovoltaica.

Tabla 4.5 Características generales de la instalación fotovoltaica integrada

Irradiancia global anual	1.546 Kwh/m ²
Temperatura media anual	11,90 °C
Tipo de célula solar	Células a-Si conectadas en paralelo.
Caja de conexiones	SOLARLOK Straddle Edge 1N5408
Conectores	LC-4

Tabla 4.6 Características para cada composición fotovoltaica

	Fachada Sur doble pile	Lucernario Sur horizontal	Lucernario Sur vertical	Lucernario Norte horizontal
Potencia (W)	10.080	1.680	840	2.520
Potencia del elemento (W)	180	140	140	140
Nº de elementos	56	12	6	18
Potencia del inversor (W)	10.000	2.000	1.200	2.500
Orientación	35 Sur	35 Sur	35 Sur	145 Sur
Ángulo	90º	5º	90º	5º

¹³ Extrapolando la producción anual de la propuesta y adecuándola a los datos de 'mixing' energético extraídos del informe de la IEA para España (International Energy Agency, 0,67 Kg CO₂/kWh), esta instalación fotovoltaica garantiza evitar la emisión anual de 3,87 Toneladas de CO₂.

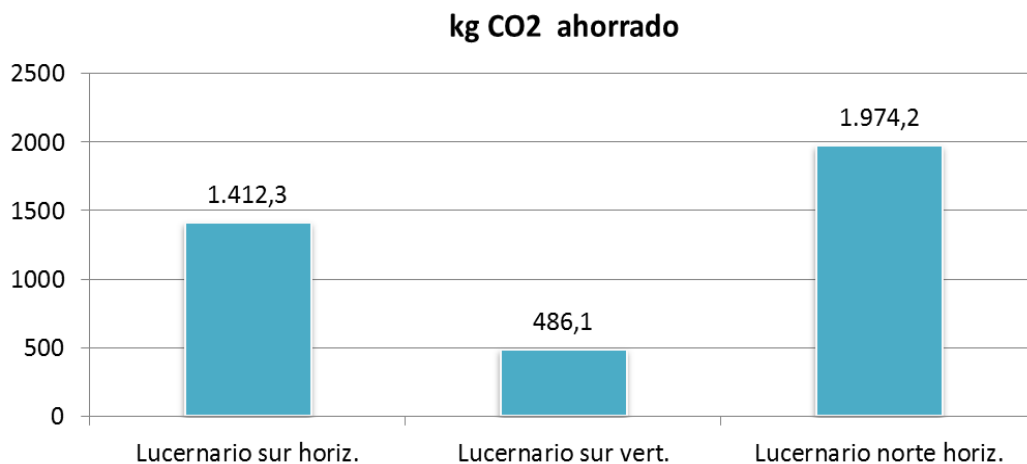


Figura 4.22 Kg de CO₂ ahorrados por cada composición fotovoltaica

Integración en fachada

Se opta por la incorporación de una doble piel fotovoltaica en la fachada Sur (figura 4.23) con el triple objetivo de: eficiencia energética, producción de energía y capacidad pedagógica y demostrativa, principalmente para optimizar su comportamiento térmico, tanto en verano como en invierno, para reducir las demandas en climatización de la zona interior vinculada, los espacios comunes de descanso; filtrar la fuerte incidencia de luz natural al interior; y obtener un buen ratio de generación de eléctrica mediante los paneles fotovoltaicos integrados.

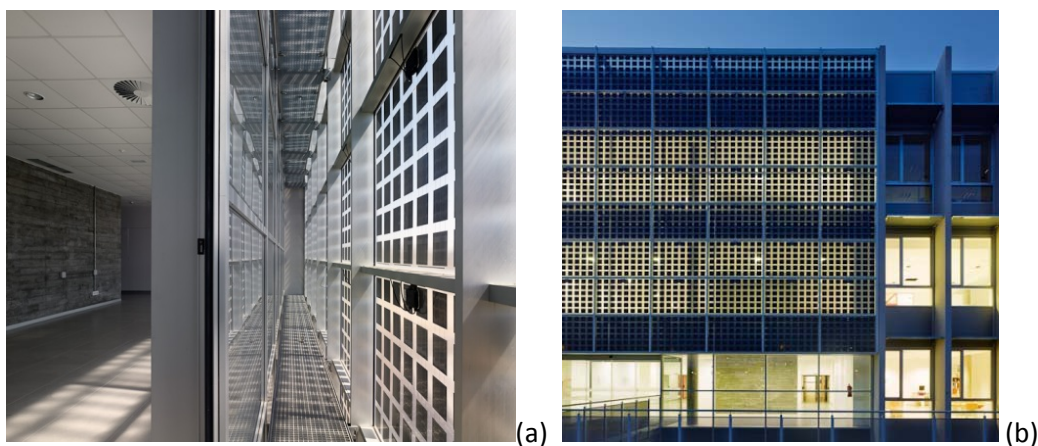


Figura 4.23 Muro de doble piel: (a) cámara interior, (b) vista exterior

Inicialmente se planteó la distancia óptima entre las dos pieles de la fachada para el principal objetivo del diseño de la cámara de aire. Se contemplan 3 opciones de separación entre fachadas, 20 cm, 60 cm y 103 cm. El resultado de las simulaciones muestra que el comportamiento térmico en verano de las cámaras de 60 y 103 cm no presenta importantes variaciones, siendo, en cualquier caso, más desfavorable el de la cámara de 60 cm. A su vez las sombras arrojadas de los elementos de fachada (aleros verticales y tapetas exteriores del muro cortina) pueden afectar al ratio de producción de la fachada fotovoltaica. La desviación de 35º respecto el Sur, hace todavía más acusado el efecto de sombra del alero lateral situado en el lado Oeste. La disminución de radiación recibida de la fachada de 60 cm y respecto la de 105 cm (enrasada) es del 5-6 %. Traslada al diseño eléctrico de la fachada fotovoltaica, esta diferencia puede ser considerablemente superior. Por estos motivos, se opta por enrasar la piel exterior con el plano exterior de los aleros de fachada, con un ancho de cámara resultante cercano a los 103 cm (+/- 5 cm) (Figura 4.24).

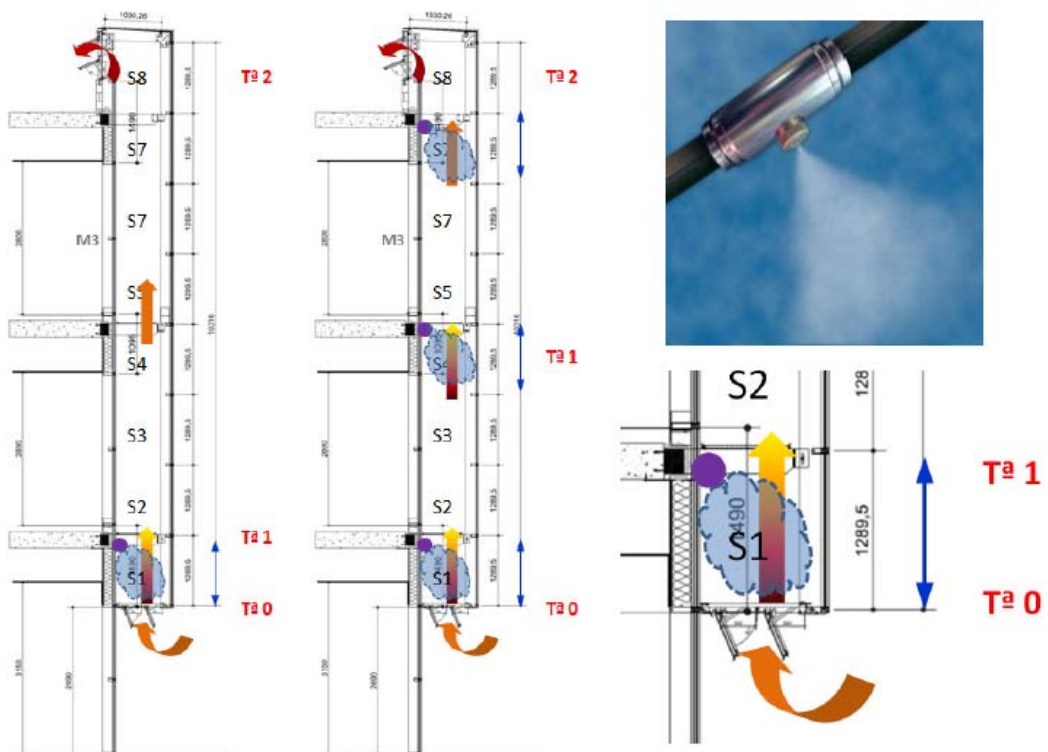


Figura 4.24 Análisis del comportamiento de la fachada de doble piel fotovoltaica

Fuente: Estudio Pich-Aguilera. Análisis del comportamiento del muro de doble piel fotovoltaica en el edificio LUCIA. [W9]

A posteriori se estudia la ubicación, dimensionado de las aberturas de ventilación y la capacidad producción fotovoltaica. De la correcta ubicación y dimensionado de las aberturas de ventilación, dependerá el correcto funcionamiento de la cámara ventilada. Se contemplan 5 casuísticas de fachada: desde la fachada simple, hasta diversas opciones de doble piel ventilada, cerrada) y con gestión dinámica de las aberturas. Se observa a partir de la simulación informática que: la configuración Fachada doble piel con abertura horizontal longitudinal inferior vertical longitudinal superior (en al lado Noroeste), con aberturas longitudinales, liberando la piel fotovoltaica exterior de la interferencia de las hojas batiente, es la que presenta un mejor balance en cuanto a consumo en climatización (25.56 kWh/m²) y producción FV (9256 kWh). A su vez se vislumbra de las simulaciones que la tipología de la cámara de aire cerrada supone un incremento del consumo energético cercano al 15% respecto la cámara abierta. Finalmente se estima que una gestión de las aberturas ideal, combinaría la demanda de refrigeración de la opción ventilada con la de calefacción de la opción cerrada. Eso supondría un consumo cercano a los 23.8 kWh/m² anual y, por lo tanto, un ahorro del 7% de energía respecto a la cámara abierta, y un 21% respecto a la cámara cerrada. Se considera en este apartado exclusivamente la fachada con la doble abertura (inferior-superior), dado que garantiza la mejor ventilación en verano y como se deduce de la demanda de climatización, la gestión ideal de las aberturas debe minimizar tanto la demanda de calefacción invernal como la demanda de refrigeración estival.

Por último, se realiza una hipótesis de refrigeración de la cámara mediante un sistema evaporativo. Se estudian dos estrategias, los puntos de aspersion vaporizada: centralizados en las partes inferiores y repartidas a lo alto de la fachada. Una vez optimizada la doble piel, a nivel de caudal de renovación de aire, temperaturas de la cámara y demanda de climatización vinculada, la refrigeración por evaporación se presenta como una de las alternativas para reducir la temperatura interior de la cámara a lo largo del año. Esta reducción puede mejorar el balance energético en verano y, a la vez, reducir las temperaturas de los módulos FV mejorando su eficiencia.

Finalmente, se diseña y propone un plan de control y monitorización del comportamiento del sistema energético de la fachada (temperaturas, incidencia solar, transferencia de energía, producción de energía renovable) que permitirá contrastar los resultados de la simulación con el comportamiento real así como la mejora y ajuste continuo del sistema.

Como conclusión del estudio técnico de modelización del sistema de doble fachada fotovoltaica (hoja exterior fotovoltaica translúcida - hoja interior cristal), se definen como puntos claves del sistema:

- Flujo de aire interior en periodo de verano que maximice la evacuación de cargas térmicas.
- Grado de sombreado y reflexión solar en periodo de verano para la disminución de ganancias solares.
- Sistema de vaporización de agua en periodo de verano para reducir tanto la temperatura de los módulos fotovoltaicos, como las de cargas mediante enfriamiento evaporativo de la cámara entre la doble piel.
- Validación de la solución de diseño óptimo en verano para el comportamiento térmico en periodo de invierno.
- Cuantificación de la producción eléctrica anual a partir de la solución de diseño óptima en verano.
- Viabilidad de la solución de diseño óptimo o para su ejecución en obra.

La fachada de doble piel produce anualmente 5,000 kWh, lo que supone un ahorro anual de 3,570 euros. Contribuye al balance positivo de energías renovables del edificio e impulsan la investigación en esta materia. Suponen un sobre coste económico que se compensa por la reducción en consumo de energía y emisiones de CO₂ (7,2 toneladas de CO₂ anuales)

4.2.2.3 . Biomasa

Para este edificio solo se intentan utilizar recursos locales y renovables (biomasa). El aprovechamiento de residuos de biomasa del procesamiento de masa vegetal de la industria de la madera (astillas de madera) ofrece un enorme potencial en la región como fuente de empleo local. En consecuencia, la investigación sobre el uso extensivo de dicho recurso en el edificio LUCIA redundará en beneficios en varios aspectos.

El uso de biomasa, un recurso excedente en la región donde se está construyendo el edificio, tiene un gran impacto socioeconómico y conducirá no solo a la creación de empleo sino también a una mayor autosuficiencia energética. El uso potencial de biomasa en la región en este sector es

enorme, pero sigue estando muy poco explotado: en 1990, dicho recurso suministraba el 9% de la producción de energía primaria en comparación con un posible 78%. Según Intelligent Energy Europe (IE EUROPE, 2007), también se espera que proyectos de esta naturaleza contribuyan a la investigación de la independencia energética local, ofrezcan beneficios sociales y generen empleo, además de mejorar la eficiencia de los sistemas existentes para su uso en biomasa. edificios.

Actualmente el edificio está conectado a la red de calor urbana con biomasa que tiene la propia Universidad de Valladolid, puesto que la producción centralizada de energía es más eficiente [18]. No obstante, el edificio mantiene su caldera de biomasa (astilla de madera) de 500 kW como respaldo (figura 4.25).



Figura 4.25 Vista de la sala de caldera auxiliar, con el alimentador de astillas y la caldera en primer plano a la izquierda y los sistemas de distribución a la derecha. Al fondo se encuentra el depósitos de acumulación de agua fría

4.2.3 Mejora de la eficiencia de los sistemas

Para reducir al máximo el consumo del edificio es necesario que los sistemas técnicos se diseñen para la mayor eficiencia posible de manera integrada. El objetivo es que no sólo sea eficiente el equipo sino también el propio sistema, y que mediante los elementos de control sean capaces de adecuar su producción de energía a las necesidades concretas de cada momento, principalmente, el nivel de ocupación y la intensidad de uso.

4.2.3.1 Control de la iluminación

El edificio presenta un sistema de control winDIM2net de la iluminación tipo DALI (Digital Addressable Lighting Interface) en función de la ocupación y nivel de iluminación natural, lo que permite ajustar el uso de energía a lo exclusivamente necesario para la iluminación artificial. Este sistema se integra en el Scada de gestión general del edificio (figura 4.26).

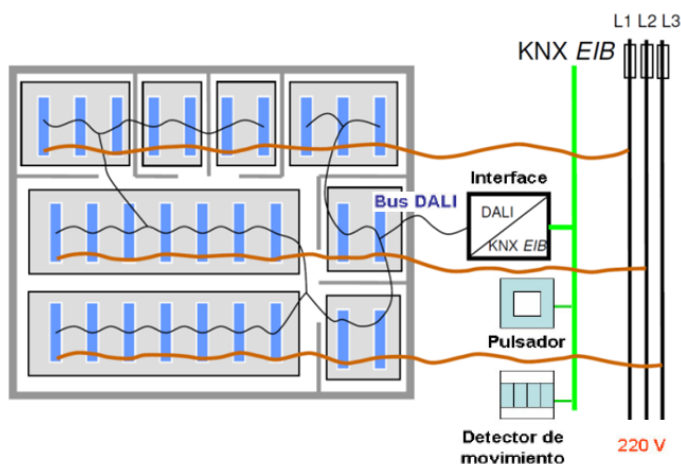


Figura 4.26 Esquema de conexión del sistema de control de iluminación

Los despachos constan de una sonda de luminosidad y balastos regulables, éstos tratarán de conseguir la consigna de luminosidad fijada por el usuario. El encendido del alumbrado lo realizará el usuario del despacho en el mando ambiente, o el personal de mantenimiento desde el puesto central. El sistema posee un programa horario semanal para los barridos de apagado del edificio por las noches (configurable por el usuario).

En los pasillos y zonas comunes, el encendido del alumbrado viene dado por detectores de presencia instalados con un retardo de apagado de 3:00 min.

4.2.3.2 Climatizador de aire primario

Se cuenta con una climatizador de aire primario de calificación energética A, dotada de ventiladores tipo plugfan (de rotor síncrono) y funcionamiento en caudal variable, con humidificación adiabática y recuperador de placas de 60% de eficiencia a 100% de caudal, que toma el aire del exterior o del sistema de pozos canadienses (el más conveniente en cada momento), con una filtración de eficacia F9 al tratarse de laboratorios (figura 4.27).

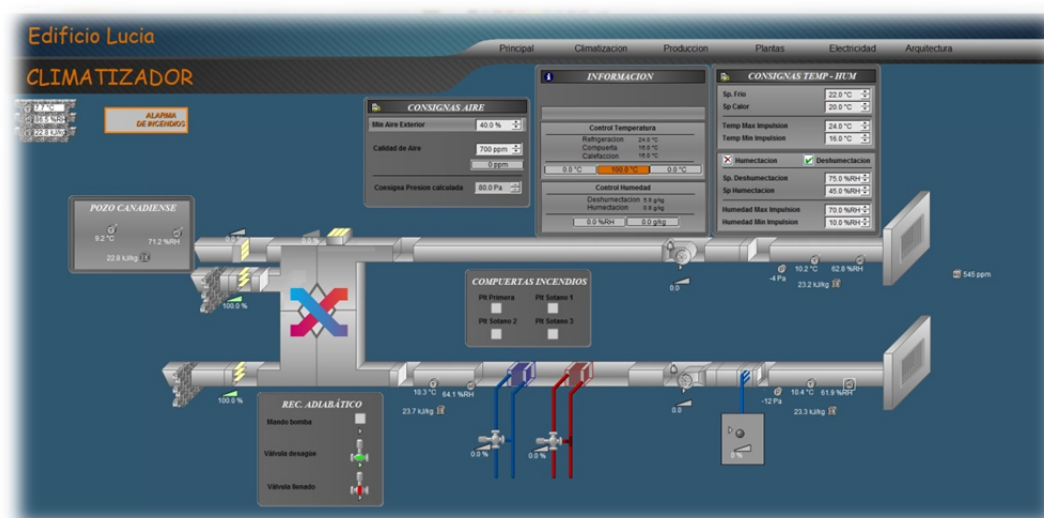


Figura 4.27 Esquema de funcionamiento del climatizador

El climatizador funciona siempre y cuando esté activo algún fancoil, controlando en función de sondas de humedad, temperatura y calidad de aire en retorno. Una vez, se cumpla esta circunstancia, se da orden de posicionamiento a las compuertas exteriores, bypass y de pozos canadienses para recibir o bien todo el aire de los pozos (con un mínimo de aire exterior del 30%), o bien todo aire exterior, en función de las condiciones de temperatura y humedad del aire que sean más óptimas.

La consigna de presión para el ventilador de impulsión viene calculada a través de una recta de compensación en función de la calidad de aire (cuanta más concentración de CO₂ más consigna de presión). El valor de

velocidad para el motor de retorno será la del ventilador de impulsión menos un 10% (para crear una pequeña sobrepresión).

Con estado de funcionamiento del ventilador de impulsión y de retorno se habilitan las regulaciones de temperatura y humedad. La temperatura se controla mediante sonda en retorno, con una consigna de temperatura de impulsión (regulación en cascada) que se conseguirá actuando en secuencia sobre las compuertas exteriores y las válvulas de las baterías.

La humedad relativa se controlará mediante sonda en retorno con respecto a la consigna fijada por el usuario, actuando en secuencia sobre el humectador de vapor proporcional y sobre la batería de frío para deshumidificación con prioridad sobre la señal de temperatura.

Comparando la energía de retorno con la exterior (entalpías), cuando la energía de retorno no sea favorable con respecto a la exterior, se accionará la compuerta de bypass de aire.

4.2.3.3 Distribución de agua calentada y enfriada.

El edificio dispone de seis circuitos de distribución de agua caliente (climatizador, FanCoils PB, P1 y P2, ACS y máquina de absorción) y cuatro circuitos de agua fría (climatizador, FanCoils PB, P1 y P2) Figura 4.28)

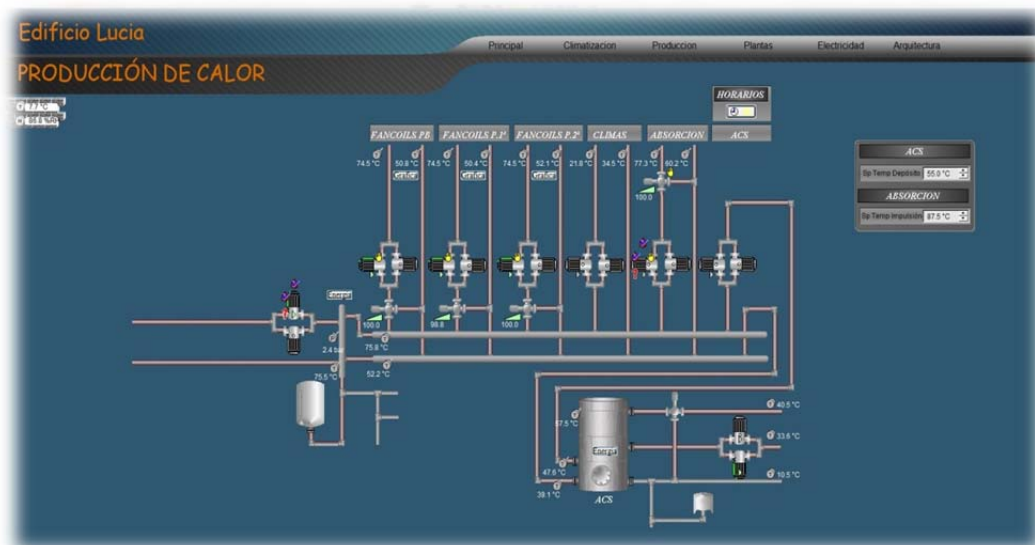


Figura 4.28 Esquema de funcionamiento de la producción de calor (6 circuitos)

Para los circuitos de calor, el arranque es el mismo que el de frío (por demanda), con la salvedad de los circuitos de ACS (programación horaria semanal más temperatura de depósito de acumulación por debajo de la consigna de acumulación) y la máquina de absorción (será la propia máquina la que pida el arranque de la misma). Los circuitos de FanCoils regularán sus válvulas de tres vías para tratar de conseguir la temperatura en impulsión fijada por una recta de compensación en función de la temperatura exterior, que puede ser configurada desde el Scada por el usuario, la regulación de la válvula se activará por el estado de funcionamiento de la bomba. El botellón debe tener una temperatura mayor que la mayor de las consignas de los circuitos que deberían estar activos para liberar las distribuciones y que arranquen las bombas .

Para los circuitos de frío, si algún fancoil o el climatizador está demandando frío, se dará orden de arranque a la bomba del circuito correspondiente, siempre y cuando el depósito de inercia de frío tenga una temperatura inferior a la de consigna del depósito de inercia, más 8 °C (figura 4.29).

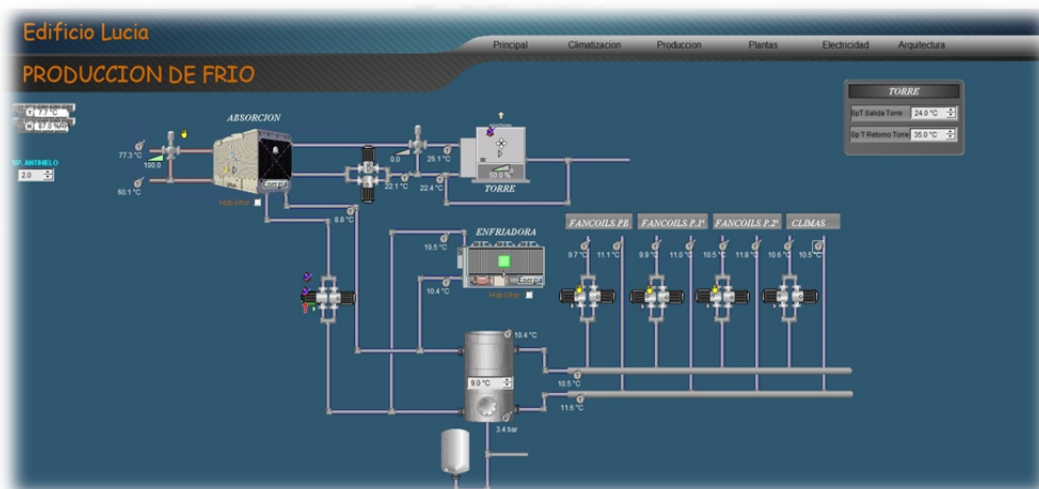


Figura 4.29 Esquema de funcionamiento de la producción de frío (4 circuitos)

El bombeo de agua se realiza en caudal variable y con un consumo mínimo, gracias a las bombas dobles de alta eficiencia energética con variador de frecuencia (figura 4.30), que regulan la cantidad de agua a bombear de forma proporcional a las necesidades de cada fancoil. Las bombas están integradas en el sistema mediante protocolo LON.



Figura 4.30 Vista de la sala del climatizador con los circuitos de distribución de calor en primer plano a la derecha

4.2.3.4 Producción de agua calentada y enfriada.

La producción de calor se toma de la subestación de la red de calor urbana del Campus (figura 4.31), si bien el edificio cuenta, como se ha comentado con una caldera de biomasa de apoyo (ver Figura 4.25).

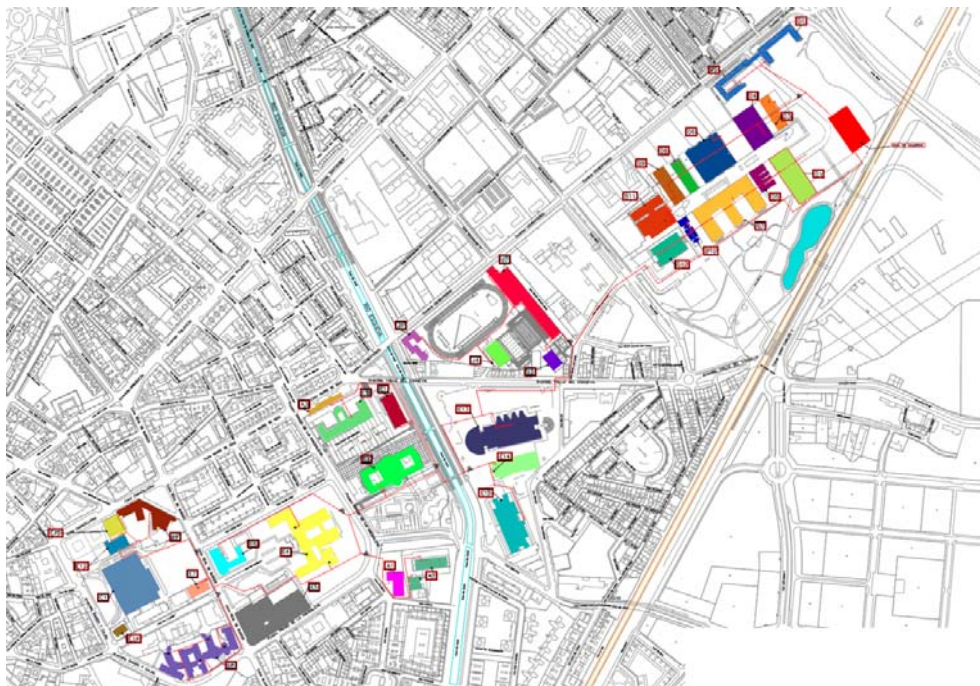


Figura 4.31 Plano general del trazado de la red de calor urbana de la Universidad de Valladolid y los edificios conectados

Para la producción de frío se encuentran instaladas una máquina de absorción y una enfriadora. Siempre se tratará primero de producir frío con la máquina de absorción, si esta tiene algún problema o no es suficiente para atender a la demanda, entrará en funcionamiento la enfriadora.

Para el arranque de la máquina de absorción, se da una señal de marcha/paro cuando exista demanda en alguno de los circuitos de frío y esté el depósito de inercia por encima de la consigna de acumulación en el mismo (siempre y cuando el parámetro de habilitación de la máquina esté activo desde el Scada, sino pasará a arrancar la enfriadora). La propia máquina enviará una señal para activar el circuito de calor, el circuito de frío y el circuito de la torre de refrigeración.

Al recibir la orden de arrancar el circuito de calor, se dará orden a la bomba de distribución correspondiente, y se habilita la regulación de la válvula que modulará para conseguir 87.5 °C en la impulsión hacia la máquina.

Al recibir la orden de arrancar el circuito de la torre de refrigeración, se da orden de encendido a la bomba correspondiente. La propia máquina de absorción también se encargará de decidir cuándo se enciende tanto la bomba como el ventilador de la torre. Tanto el ventilador de la torre como la válvula de tres vías instalada en el circuito modularán para tratar de conseguir una temperatura de entrada en la máquina de absorción en un rango de 22-28 °C.

Cuando se cumplan las condiciones para arrancar la enfriadora en apoyo, se dará orden de marcha/paro a la misma (siempre y cuando esté activada la habilitación de funcionamiento de la máquina desde el Scada). El funcionamiento y regulación de la enfriadora es autónomo.

4.2.3.5 Unidades terminales: Sistema de FanCoils

Cada estancia posee un sistema de FanCoils de conductos a cuatro tubos con válvulas de dos vías en agua caliente y fría para trabajar en caudal variable de agua. Están conectados al sistema de control KNX del edificio, cambiando la temperatura de confort interior cuando las estancias están ocupadas o vacías, y apagándose solos cuando la estancia está sin ocupación tras un plazo determinado. Tras cada jornada, adicionalmente, las temperaturas de confort se ajustan solas a los parámetros por defecto, evitando de ésta forma consumos excesivos debido a cambios en las programaciones manuales de los termostatos.

Los FanCoils disponen de una unidad ambiente, dónde se puede modificar el valor de la consigna de temperatura, la velocidad del ventilador o el modo de funcionamiento del fancoil, por el tipo de bus realizado, la última orden sobre el dispositivo es la que prevalece, así que la orden que se visualice en el Scada puede no ser la que se está dando al dispositivo, al poder variar el usuario desde la unidad ambiente o desde el Scada.

Se programan tres horarios por planta (zona Este, zona Oeste y zona centro) para poder realizar un barrido de apagado a última hora del día. Cabe la posibilidad de tener un fancoil determinado en manual para que el horario no afecte a su modo de funcionamiento (este manual no influye sobre el mando de la unidad ambiente).

4.2.3.6 Control

Se ha dispuesto de contadores de energía de la caldera, del cogenerador, de la enfriadora, de la máquina de absorción y del ACS (valores de energía acumulada, caudal instantáneo, potencia, etc., mediante protocolo M-Bus); contadores de agua de ACS, climatización, reciclada, etc. (mediante contaje de pulsos); o de 97 analizadores de redes distribuido por el edificio (energía activa, reactiva, aparente, tensiones de fase, frecuencia... mediante integración ModBus)

4.2.4 Otras estrategias de sostenibilidad

Junto con los resultados obtenidos en materia energética, se han implementado numerosas actuaciones y estrategias en campos como los sociales, los referidos al entorno, la accesibilidad, la gestión del agua, los residuos, la vegetación, la biodiversidad, la selección de materiales, la reducción de contaminantes, el potencial formativo, etc. Especial hincapié se ha realizado para aumentar conciencia y conocimiento, mediante una fuerte tarea de difusión de los alcances obtenidos en el edificio.

4.2.4.1 Gestión del ciclo del agua

Reducción de la demanda de agua potable, mediante la recuperación del 73% del agua de lluvia recogida en la cubierta, y el tratamiento y reciclaje del 100% de las aguas grises para su uso en el sistema de saneamiento (figura 4.31),

equipados además con dispositivos ahorradores. La cubierta es vegetal, y se recupera el agua de lluvia para su reutilización en las cisternas de inodoros. Las plantas utilizadas son autóctonas y no requieren riego. Las aguas procedentes de laboratorio son tratadas previamente a su vertido a la red.



Figura 4.31 Vista de la sala de tratamiento de aguas grises (izquierda), y de la sala de tratamiento de aguas de laboratorios (derecha)

Se han implementado otras estrategias de ahorro de agua como grifos de bajo consumo, reductores de presión por planta para mantener toda la red en las condiciones de uso, sin sobrepresión en los últimos aparatos, etc. La figura 4.32, resume toda la estrategia.

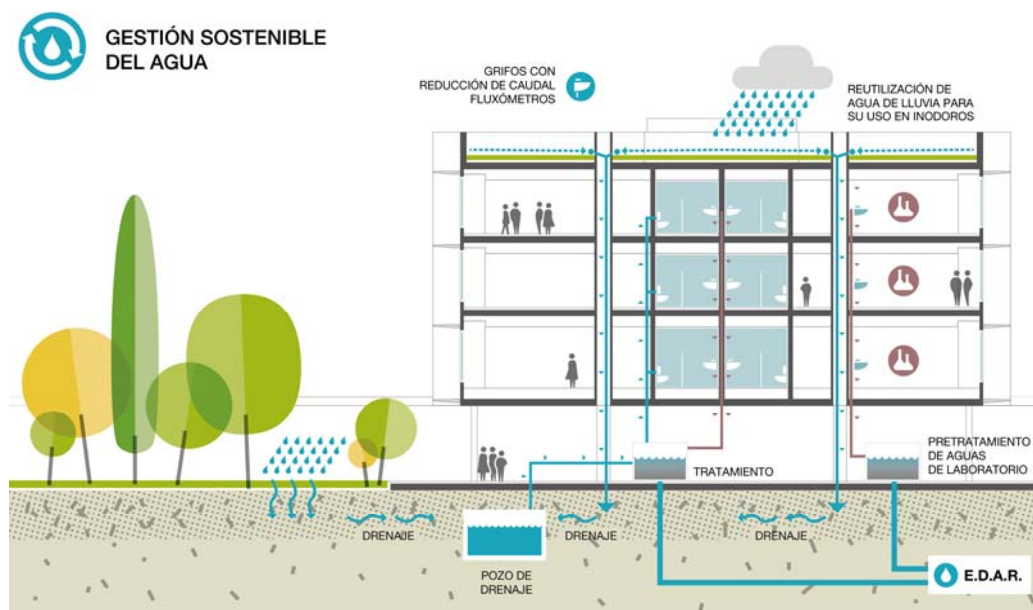


Figura 4.32 esquema general de la gestión del ciclo del agua

4.2.4.2 Selección de materiales de construcción

Se ha realizado una importante selección de materiales constructivos, incluyendo materiales de bajo impacto ambiental y baja energía incorporada; sin VOC; reutilizados, reciclados, reutilizables y reciclables; de origen local; los que generan menos residuo en su proceso (prefabricados, industrializados, etc.); de fácil desmantelamiento, etc.

Además de esto, se han utilizado materiales fotocatalíticos en el exterior del edificio (pintura de revestimiento de las fachadas prefabricadas de hormigón y revestimiento cerámico en volúmenes de la zona de peto e instalaciones de cubierta, Figure 4.33) basados en las aplicaciones de TiO_2 , como elementos activos en la reducción de los contaminantes de zonas urbanas: NO_x , etc.



Figura 4.33 Forrado cerámico fotocatalítico en los petos de la cubierta

4.2.4.3 Gestión de residuos

Se ha realizado un exhaustivo estudio de gestión de los residuos en las fases de construcción y mantenimiento del edificio en todos sus ámbitos (figura 4.34), incluyendo la realización de compost procedente del residuo vegetal.

El análisis del residuo generado en la hipotética fase de demolición del edificio ha sido completado con el estudio de su posible reutilización.

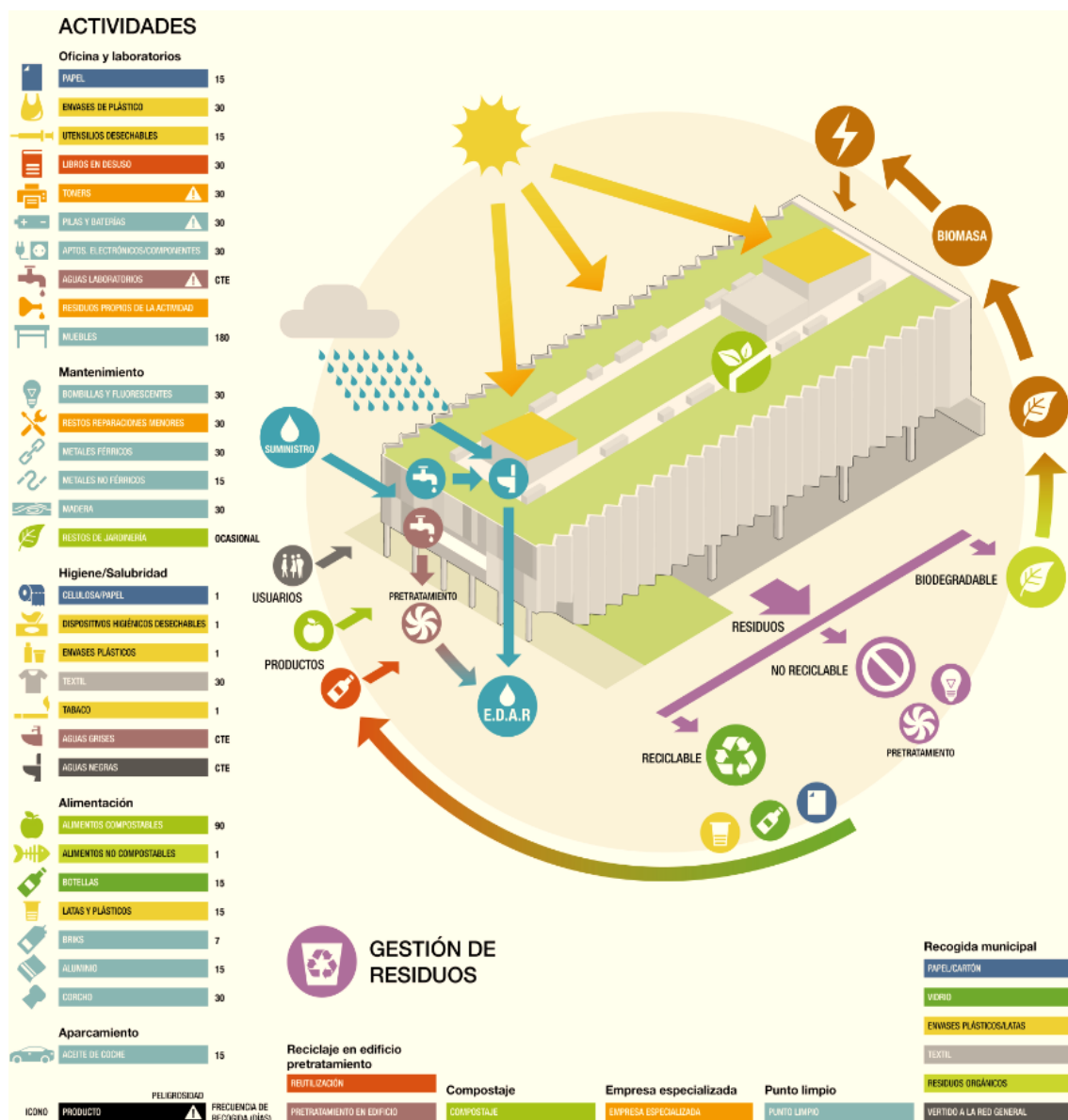


Figura 4.34 Esquema de flujos de energía, materiales, etc. del edificio

4.2.4.4 Accesibilidad universal

Con el objetivo de garantizar el acceso y uso del edificio a personas con cualquier discapacidad, todas las entradas, estancias, incluso cuartos técnicos, son completamente accesibles, se diferencian las plantas por colores para facilitar la orientación; y se contrastan los pavimentos con los paramentos verticales, y estos con las puertas de acceso para guiar a las personas con deficiencia visual,. Así mismo, se dota a cada planta de aseos

accesible, para limitar los desplazamientos por el edificio de los potenciales usuarios; y se dota de un sistema propio de emisión en Frecuencia Modulada que cualquier persona con problemas auditivos pueda moverse libremente por el edificio

4.2.4.5 Formativo

Se ha realizado y se está realizando un extenso plan de educación e información del personal de mantenimiento, usuarios, profesores y alumnos de la Universidad y del público en general, para contribuir al conocimiento de los temas de medioambiente relacionados con los edificios.

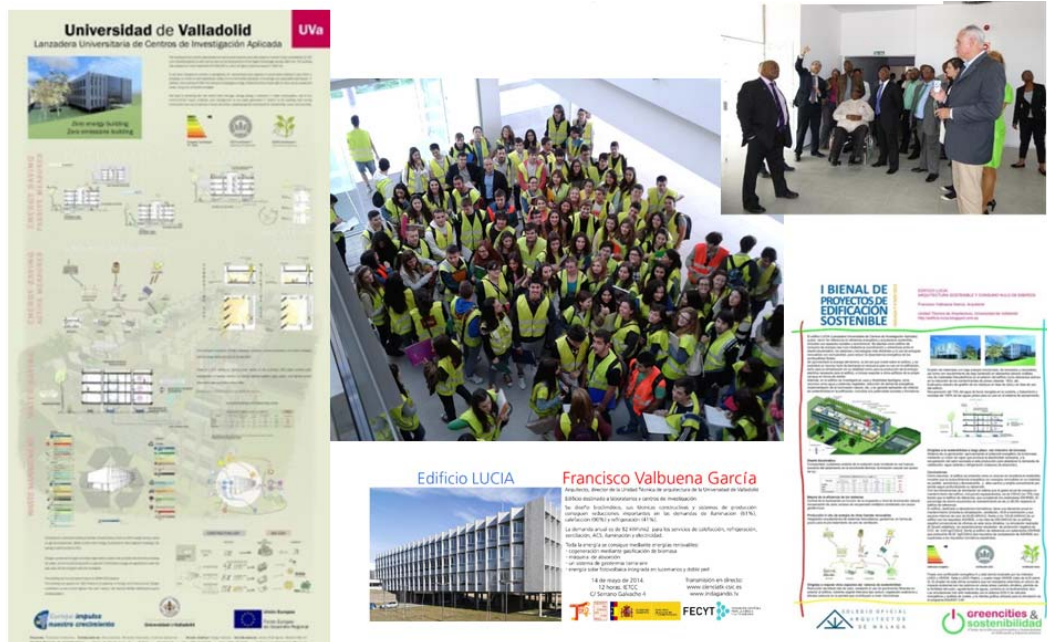


Figura 4.35 Diferentes actos de formación e información sobre el edificio LUCIA

Referencias

Páginas web

- [W1] DG Environment 2019. Waste: *Construction and demolition waste*, https://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm, último acceso marzo 2020
- Environmental and Energy Study Institute (EESI), 2014. *How Better Recycling Can Minimize Waste and Boost the Economy*. Washington DC: <https://www.eesi.org/briefings/view/042214recycling> último acceso marzo 2020
- [W2] <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>, último acceso marzo 2020
- [W3] DG GROW (2016): <https://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/> último acceso marzo 2020
- [W4] <https://www.usgbc.org/leed>, último acceso junio 2020
- [W5] <https://gbce.es/certificacion-verde/>, último acceso junio 2020
- [W6] <http://edificio-lucia.blogspot.com/>
- [W7] [http://www.aemet.es/es/noticias/2019/03/Efectos del cambio climatico en espana](http://www.aemet.es/es/noticias/2019/03/Efectos-del-cambio-climatico-en-espana), último acceso abril 2020
- [W8] <https://www.onyxosolar.es/universidad-valladolid>, último acceso abril 2020
- [W9] https://drive.google.com/file/d/0BxB12VBFp_3HanLYMThIMmwyNjg/view, último acceso abril 2020

Bibliografía

- [1] United Nations Environment Programme – Sustainable Buildings and Climate Initiative (UNEP-SBCI) 2012. *Building Design and Construction: Forging Resource Efficiency and Sustainable Development*.
- [2] World Steel Association, 2015. *World Steel in Figures 2015*. Brussels
- [3] Comisión Europea 2011. *Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos*, (COM (2011) 571 final, 20 de septiembre).
- Comisión Europea 2014. *Oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción*, (COM (2014) 445 final, 1 de julio). <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/ES/1-2014-445-ES-F1-1.Pdf>
- [4] Ellen MacArthur Foundation 2013. *Towards the Circular Economy Vol. 1: Economic and business rationale for an accelerated transition*, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/ Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>.

- [5] Bluyssen, P. M. 2009. *The indoor environment handbook: how to make buildings healthy and comfortable*, Earthscan, London
- [6] Kephelopoulos S., Geiss O., Barrero-Moreno J., D'Agostino D., Paci D., 2016. *Promoting healthy and energy efficient buildings in the European Union - National implementation of related requirements of the Energy Performance Buildings Directive (2010/31/EU)*
- [7] European Environment Agency 2017: *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016*. EEA Report 1/2017
- [8] Akbari H. and Konopacki S. 2005. Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies, *Energy Policy*, **33** , No. 6
- [9] Levermore G., Parkinson J., Leeb K., Laycock P. and Lindley S. 2018. The increasing trend of the urban heat island intensity, *Urban Climate* **24**
- [10] Kleerekoper L., van Esch M., Salcedo TB., 2012. How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, **64**: 30–38
- [11] NHBC Foundation 2016. *The Challenge of Shape and Form Understanding the Benefits of Efficient Design*. Milton Keynes, UK (Aunque está dedicado a viviendas, el análisis del factor de forma es válido para otros edificios).
- [12] Ascione F., De Masi R.F., de Rossi F., Ruggiero S., Vanoli G.P. 2016. Optimization of building envelope design for nZEB in Mediterranean climate: performance analysis of residential case study, *Applied Energy* **183**, 938–957.
- [13] Farley, K. M., & Veitch, J. A. (2001). *A room with a view: A review of the effects of windows on work and well-being*. Institute for Research in Construction, National Research Council Canada.
- [14] Boyce P., Hunter C. and Howlett O. 2003. *The Benefits of Daylight through Windows*. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy
- [15] Tzempelikos A., Athienitis A.K., 2007. The impact of shading design and control on building cooling & lighting demand, *Solar Energy*, **81** (3), pp. 369-382.
- [16] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) 2012. "Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado" Serie Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización.
- [17] Montoro D.F., Vanbuggenhout P., and Ciesielska J. 2011. *Building Integrated Photovoltaics: An overview of the existing products and their fields of application (6th Framework programme for Research and Technological development of the European Commission)*.
- [18] Lu Y., Wang S., Shan K., 2015. Design optimization and optimal control of grid - connected and standalone nearly/net zero energy buildings. *Applied Energy* **155**(1): 463-477

5 Simulaciones y evaluación de resultados

5.1 Introducción

Actualmente, en la normativa española, la realización de estudios de modelización energética es un proceso obligatorio en todo edificio de nueva construcción o reforma, con el fin de determinar el grado de mejora respecto a los requisitos prescriptivos incluidos en las secciones HE0 “Limitación del consumo energético” y HE1 “Condiciones para el control de la demanda energética”, del Documento Básico HE de Ahorro de Energía (DB HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE) [W1].

La metodología de cumplimiento de esa exigencia se basa en programas informáticos diseñados especialmente para tal fin (Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC), CYPETHERM HE Plus, CE3, CE3X...) [W2], que cumplen el objetivo automatizando la generación del edificio de referencia, con las mismas características geométricas del edificio propuesto (edificio objeto), pero con las soluciones constructivas y sistemas definidos reglamentariamente (soluciones constructivas de referencia) [W3].

Esta automatización simplifica el proceso, aunque la sencillez de uso de los programas tiene como efecto secundario su opacidad a la hora de interpretar los resultados y para utilizarlos en el diseño del propio edificio, restringiendo la utilidad del programa casi únicamente a efectos de obtener la certificación energética.

Para evitar ese problema, se pueden utilizar herramientas más avanzadas de simulación que permitan un conocimiento más extenso con el que analizar y evaluar los resultados del rendimiento energético en el edificio, pero que también sirven para su optimización y control [1]

Mediante este proceso de Modelización energética dinámica o Building Energy Modeling (BEM), que combina una herramienta de diseño, un lenguaje de programación visual y una herramienta de simulación del rendimiento del edificio, se estudian en profundidad las condiciones de diseño del edificio objeto (Edificio Propuesto) [2], con el fin de caracterizar adecuadamente su comportamiento energético, en comparación con un edificio base preestablecido (Edificio de Referencia), a través de un cálculo hora a hora en régimen transitorio partiendo de la información de diseño

del edificio, de los datos climáticos de referencia, y de parámetros estimados que tipifican su uso probable en la práctica (ocupación, tipo de actividad, cargas térmicas interiores, etc.) [3].

La información proporcionada por el análisis BEM se utiliza en este caso para analizar las instalaciones del edificio y no tanto para optimizarlas, de forma que se compruebe:

- El grado de calificación energética alcanzado
- La eficiencia energética en base a la disponibilidad económica
- La rentabilidad económica respecto al ciclo de vida del edificio para un período dado

La metodología se basará en el estudio comparativo mediante la creación de varios modelos energéticos del edificio propuesto comparando sus resultados, de modo que se pueda obtener un análisis exhaustivo del comportamiento energético del edificio según las diferentes decisiones de proyecto.

Para ello, se deben realizar los siguientes modelos: El modelo del edificio propuesto (que por la singularidad de la fachada se denominará *edificio LUCIA zigzag*), el modelo de referencia establecido en la normativa (*edificio de referencia CTE zigzag*); pero además se realizara el modelo del hipotético edificio objeto en el que se “elimina” este diseño de fachada en dientes de sierra alineando los huecos en la dirección de la fachada como el resto de edificios del Campus (*edificio LUCIA cuadrado*), y su correspondiente edificio de referencia (*edificio de referencia CTE cuadrado*). Figura 5.1

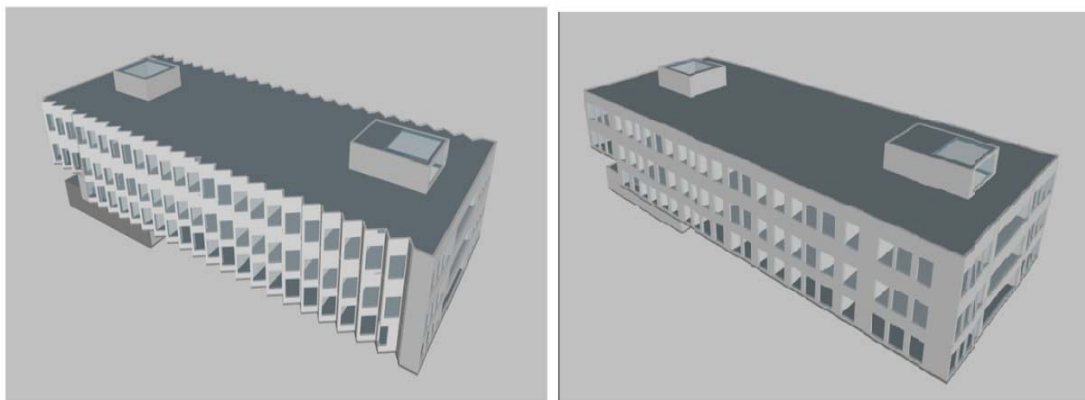


Figura 5.1 Imágenes del *edificio LUCIA zigzag* (izquierda) y el *edificio LUCIA cuadrado*

Esto permitirá establecer por un lado las mejoras del edificio en relación con las prescripciones de la normativa vigente y que definen, en teoría, un edificio de consumo de energía casi nulo (ECCN); y por otro, la importancia de las decisiones de diseño en la reducción de la demanda de energía

5.2 Modelización energética

5.2.1 Software de modelización

La modelización se ha llevado a cabo con el software Design Builder v5.5.2.007 [W4], por considerarse el más adecuado para la simulación completa de un edificio complejo, al permitir evaluar los niveles de confort y el comportamiento ambiental del edificio; y por contar con el potente motor de cálculo EnergyPlus [W5] que permite cálculos de demandas y consumos energéticos para calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación, agua y flujos de energía, así como las emisiones de carbono mediante simulaciones dinámicas con base en archivos climáticos horarios, para más de un sistema por zona.

Además integra el motor RADIANCE [4] que permite realizar cálculos de la luz natural para obtener datos sobre iluminancia, factor de luz diurna, deslumbramiento...

5.2.2 Datos de partida de las modelizaciones

Los datos que se introducen en el modelo propuesto y de referencia, presentan dos características:

Datos comunes a todos los modelos: Se han modelado las condiciones de horario y ocupación, las necesidades de ventilación exterior, las temperaturas operativas interiores de los locales, las cargas de proceso del edificio, y los datos climáticos.

Datos específicos de cada modelo: tipología y características de los sistemas de ventilación, calefacción, refrigeración, iluminación y producción de ACS, de acuerdo con la metodología específica de introducción de datos.

5.2.2.1 Características comunes de todos los modelos

Existen algunos parámetros característicos de las modelizaciones que deben ser idénticos en todas ellas con el fin de permitir la realización de las comparaciones, tales como horarios, ocupación, necesidades de ventilación exterior, temperaturas operativas interiores de los locales, y temperaturas exteriores

Horarios y ocupación

Se ha considerado que el edificio se encuentra ocupado con regularidad durante todos los meses del año.

Los horarios de ocupación diaria y las ratios de ocupación estimados establecidos de lunes a viernes se muestran en la figura 5.2:

Nombre	LUCIA - Occupancy - Office
Descripción	
Fuente	ASHRAE 90.1-2007 User's Manual
Categoría	ASHRAE 90.1-2007
Región	General
Tipo de programación	2-Programación Compacta
Perfiles	Schedule:Compact Occupancy__Office, Fraction, Through: 31 Dec, For: Weekdays, Until: 09:00, 0, Until: 14:00, 1, Until: 16:00, 0.4, Until: 17:00, 0.6, Until: 21:00, 0.6, Until: 24:00, 0, For: Saturday, Until: 06:00, 0, Until: 08:00, 0, Until: 12:00, 0, Until: 17:00, 0, Until: 19:00, 0, Until: 24:00, 0, For: Sunday, Until: 06:00, 0, Until: 18:00, 0, Until: 24:00, 0, For: SummerDesignDay, Until: 09:00, 0, Until: 14:00, 1, Until: 16:00, 0.4, Until: 17:00, 0.6, Until: 21:00, 0.6, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0 ;

Figura 5.2 Entrada en el modelo de los datos en porcentaje de ocupación respecto del máximo, en cada tramo horario.

Ejemplo: Until 16:00, 0.4 De 14:00 a 16:00, Ocupación del 40% respecto diseño

Se considera el edificio ocupado desde las 9 de la mañana, hasta las 9 de la noche, con ratios de ocupación variables según la hora del día. Se considera plena ocupación entre las 9:00 de la mañana y las 2:00 de la tarde ocupación baja entre las 2:00 y las 4:00 de la tarde y ocupación media desde las 4:00 hasta las 9:00 de la noche, momento en el cual el edificio se vacía.

La ocupación del edificio ha sido establecida en cada estancia por la Universidad de Valladolid. Cada estancia en todos los modelos tiene un número de ocupantes preestablecido.

Horarios de iluminación

Los horarios de iluminación utilizados corresponden a estándares habituales de comparación utilizados en modelizaciones de consumo informático (figura 5.3), en base a la experiencia. En el modelo propuesto se han utilizado sistemas de control de demanda de iluminación en base a la luminosidad exterior y a detectores de presencia.

General	
Nombre	LUCIA - Lighting schedule
Descripción	
Fuente	ASHRAE 90.1-2007 User's Manual
Categoría	ASHRAE 90.1-2007
Región	General
Tipo de programación	2-Programación Compacta
Perfiles	
Schedule: Compact, Occupancy__Office, Fraction, Through: 31 Dec.	
For: Weekdays,	
Until: 08:00,	0,
Until: 09:00,	0.3,
Until: 14:00,	0.8,
Until: 16:00,	0.8,
Until: 17:00,	0.6,
Until: 21:00,	0.6,
Until: 24:00,	0,
For: Saturday,	
Until: 06:00,	0,
Until: 08:00,	0,
Until: 12:00,	0,
Until: 17:00,	0,
Until: 19:00,	0,
Until: 24:00,	0,
For: Sunday,	
Until: 06:00,	0,
Until: 18:00,	0,
Until: 24:00,	0,
For: SummerDesignDay,	
Until: 08:00,	0,
Until: 09:00,	0.3,
Until: 14:00,	0.8,
Until: 16:00,	0.8,
Until: 17:00,	0.6,
Until: 21:00,	0.6,
Until: 24:00,	0,
For: AllOtherDays,	
Until: 24:00,	0 ;

Figura 5.3 Entrada en el modelo de los datos en porcentaje de iluminación encendida del edificio respecto del máximo, en cada tramo horario

Equipamiento interior del edificio

El equipamiento interior del edificio comprende todos los sistemas y aparatos del edificio que pueden producir un consumo energético de algún tipo que no es debido a la iluminación, calefacción, refrigeración o ventilación. Este valor es igual en todos los modelos, y representa un promedio del 25% del consumo energético total del edificio objeto (figura 5.4).

La norma para el cálculo de las necesidades de equipamiento interior del edificio ha sido:

- Despachos: 250 W por ordenador y 100 W por equipamiento diverso en cada despacho.
- Laboratorios: 250 W por ordenador y 250 W por equipamiento diverso por ocupante.
- Áreas de Paso: 0 W.

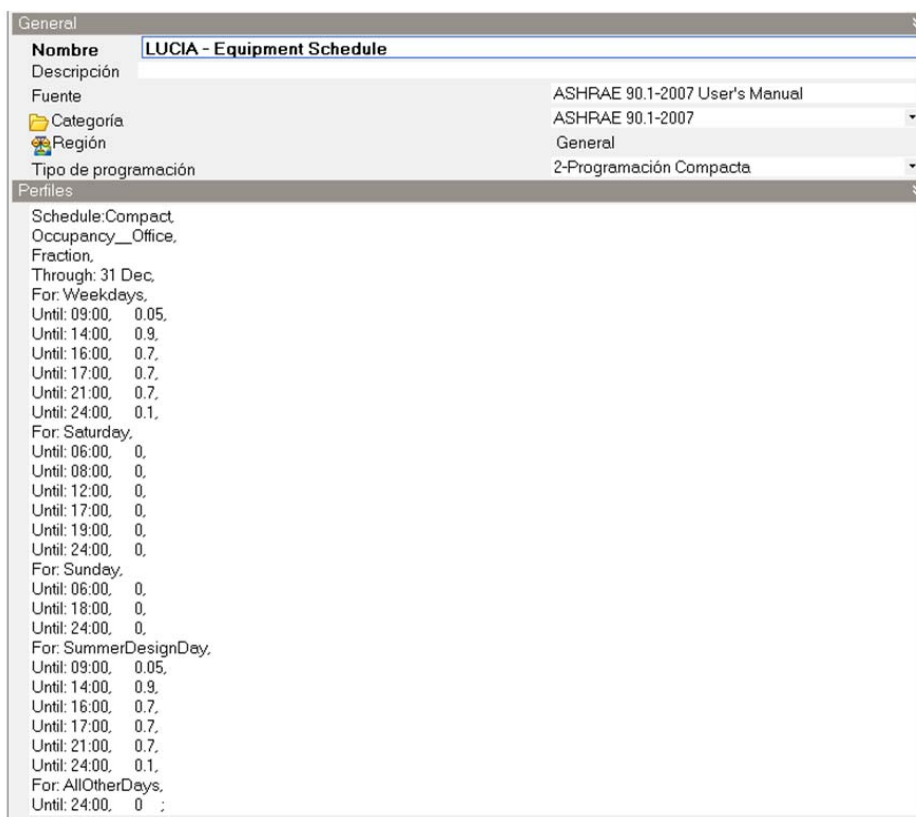


Figura 5.4 Entrada en el modelo de los datos en porcentaje del de uso de equipos del edificio respecto del máximo, en cada tramo horario

Necesidades de ventilación

Las necesidades de ventilación de cada estancia interior del edificio se han determinado en base al cumplimiento en cada una de ellas del criterio más restrictivo entre los dos siguientes:

- El Reglamento de instalaciones térmicas de los edificios, diferenciando para cada estancia del edificio la clasificación IDA de calidad ambiental interior necesaria.
- La norma ASHRAE 62.1 de ventilación, para el incremento de las tasas de ventilación del aire exterior de todos los espacios ocupados del 30% (exigencia para garantizar el cumplimiento del crédito “Increased ventilation” de LEED NC v2009), para garantizar la calidad de aire interior [W8].

Se consideran los horarios de funcionamiento de los sistemas de ventilación únicamente durante los días que el edificio está ocupado como se muestra en la figura 5.5 (de lunes a viernes, excluyendo festivos).

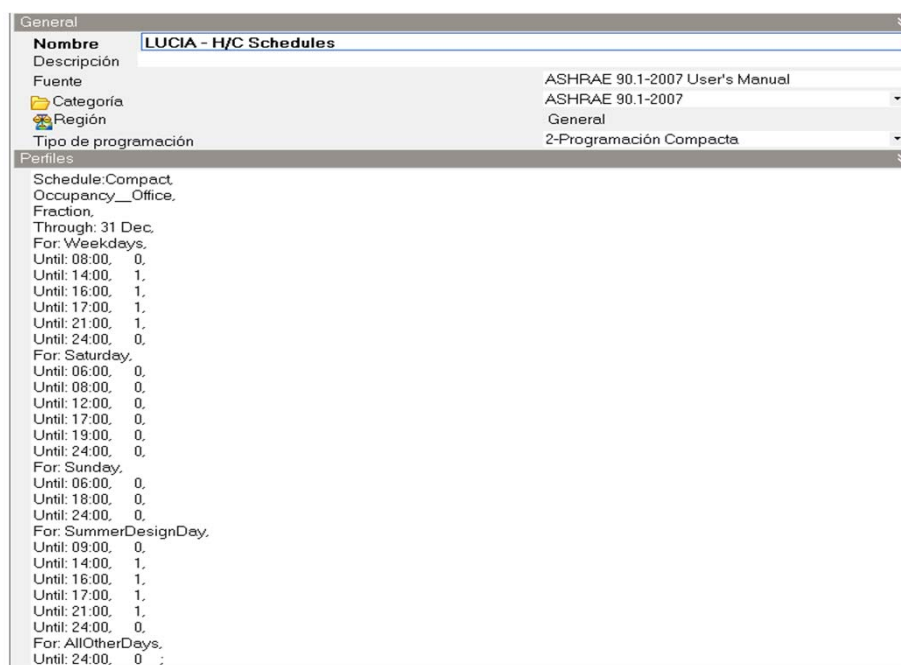


Figura 5.5 Permiso de funcionamiento de los sistemas de climatización por horarios. 0 son equipos forzados a apagarse, y 1 son equipos que se permite que funcionen (pero pueden estar parados si no se necesitan).

Temperaturas interiores

Las temperaturas de consigna para calefacción y climatización se han obtenido en base al Real Decreto 1826/2009 que modifica el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [W6], fijando:

- Una temperatura en verano de 25 °C
- Una temperatura en invierno de 20 °C
- Una humedad relativa comprendida entre el 30% y el 70% en todo momento

Condiciones climáticas exteriores

Como datos climáticos, se ha utilizado el archivo de referencia climática de Valladolid de la base de datos de EnergyPlus / ASHRAE, la mayor base de datos climática a nivel mundial. El archivo climático no es el de la simulación española, ya que éste es genérico para una tipología de clima, y el utilizado es específico para Valladolid, siendo por tanto los resultados más exactos y coherentes en la comparación de los distintos edificios modelados.

- Archivo climático empleado en Design Builder (weather data EnergyPlus): ESP_VALLADOLID_SWEC.epw [W7] (figura 5.6).

Custom Monthly Report

	SITE OUTDOOR AIR DRYBULB TEMPERATURE [C]	SITE OUTDOOR AIR WETBULB TEMPERATURE [C]	SITE OUTDOOR AIR DEWPOINT TEMPERATURE [C]	SITE WIND SPEED [m/s]	SITE SKY TEMPERATURE [C]	SITE DIFFUSE SOLAR RADIATION RATE PER AREA [W/m2]	SITE DIRECT SOLAR RADIATION RATE PER AREA [W/m2]	SITE RAIN STATUS []
January	4.10	2.90	1.62	6.70	-11.6	35.60	70.13	0.00
February	6.11	3.51	0.64	6.70	-10.0	47.90	119.33	0.00
March	8.08	4.95	1.71	6.70	-7.9	67.53	168.96	0.00
April	9.86	6.59	3.54	6.70	-5.8	75.59	200.15	0.00
May	13.25	9.00	5.48	6.70	-2.1	79.62	255.08	0.00
June	18.01	11.80	7.23	6.70	2.80	87.89	279.15	0.00
July	21.53	13.27	7.51	6.70	6.20	74.61	343.15	0.00
August	21.30	13.64	8.49	6.70	6.22	66.14	327.21	0.00
September	18.63	12.32	7.87	6.70	3.54	62.35	233.04	0.00
October	12.86	9.27	6.32	6.70	-2.3	51.95	162.89	0.00
November	7.67	5.84	4.18	6.70	-7.7	39.99	91.18	0.00
December	4.83	3.52	2.11	6.70	-10.8	31.77	59.10	0.00
Annual Sum or Average	12.22	8.08	4.75	6.70	-3.2	60.11	192.96	0.00
Minimum of Months	4.10	2.90	0.64	6.70	-11.6	31.77	59.10	0.00
Maximum of Months	21.53	13.64	8.49	6.70	6.22	87.89	343.15	0.00

Figure 5.6 Datos climatológicos locales considerados en la simulación

5.2.2.2 Metodología de introducción de datos

Para cada estancia o zona del edificio y cada sistema o elemento de climatización se han definido todos los parámetros necesarios para simularlo. A continuación se muestran un par de ejemplos de la metodología de introducción de datos en los diversos modelos.

- 1 Entrada de parámetros de definición de Zona HVAC, en este caso, modelado con sistema de regulación de iluminación. Este tipo de ahorro sí se puede simular mediante el programa Design Builder, mediante una programación de control continua (figuras 5.7 y 5.8).

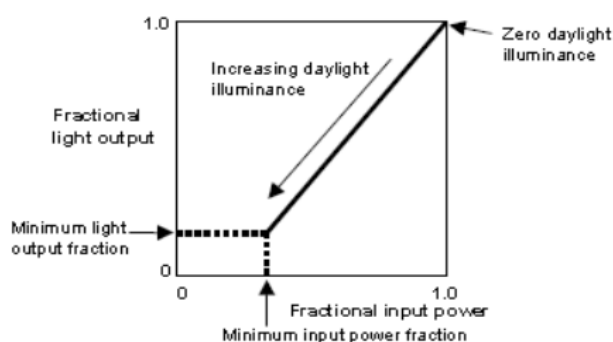


Figura 5.7 Esquema de control de iluminación natural (regulación)

General	
Nombre	PS:S23D
Programaciones de Termostato	
Programación de consigna de calefacción del termostato	LUCIA - Heating set point schedule
Programación de consigna de refrigeración del termostato	LUCIA - Cooling set point schedule
Programaciones de Consignas VMP	
Control de Higrostató	
Control de CO ₂ y Contaminantes	
Rendimiento de Distribución de Aire de Zonas	
Dimensionado	
Dimensionado de Refrigeración	
Método de temperatura del aire de impulsión en diseño de refrigeración	1-Temperatura del aire de impulsión
Temperatura del aire de impulsión en diseño de refrigeración (°C)	16,000
Ratio de humedad del aire de impulsión en diseño de refrigeración	0,009
Fracción mínima de caudal de aire para refrigeración (régimen mínimo)	0,000
Factor de dimensionado de refrigeración de zona	1,150
Método de caudal nominal de aire para refrigeración	1-Día de diseño
Dimensionado de Calefacción	
Método de temperatura del aire de impulsión en diseño de calefacción	1-Temperatura del aire de impulsión
Temperatura del aire de impulsión en diseño de calefacción (°C)	34,000
Ratio de humedad del aire de impulsión en diseño de calefacción	0,004
Factor de dimensionado de calefacción de zona	1,250
Método de caudal nominal de aire para calefacción	1-Día de diseño
Dimensionado de Aire Exterior	
Definición del caudal de aire exterior	2-Caudal/Zona
Caudal de aire por zona (m ³ /s)	0,0130000
Sistema Dedicado de Aire Exterior (DOAS)	
<input checked="" type="checkbox"/> ¿Desea incluir DOAS?	
Estrategia de control	1-Aire de impulsión neutral
Consigna de temperatura baja para diseño	Autosize
Consigna de temperatura alta para diseño	Autosize

Figura 5.8 Ejemplo de programación de zona a efectos de comportamiento térmico

2 Potencia instalada de iluminación de cada estancia en el modelo base (figura 5.9):

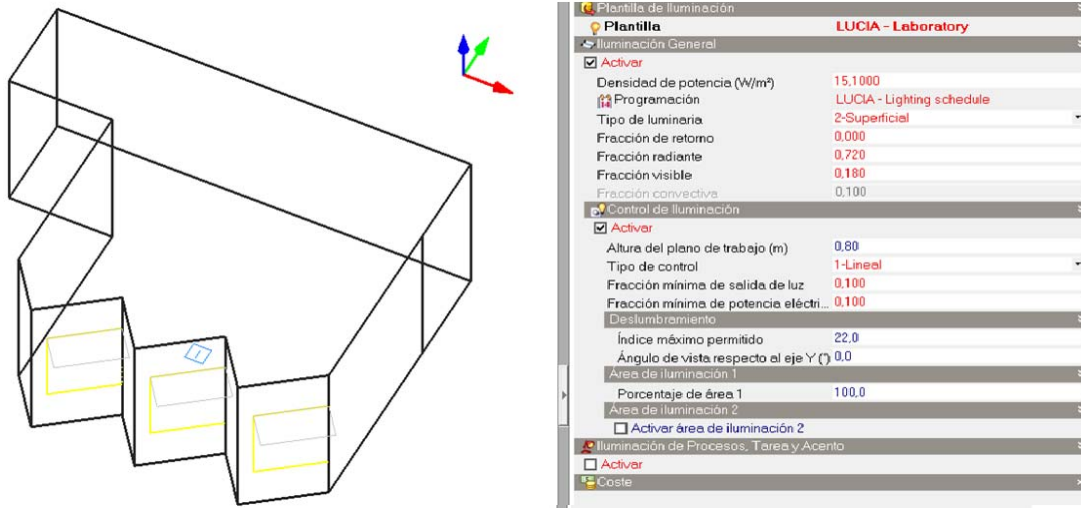


Figura 5.9 Esquema de control de iluminación

5.2.3 Introducción de datos para la modelización del edificio LUCIA

Se realiza la modelización informática lo más precisa posible en términos de demanda y consumo energético con el fin de valorar los cerramientos y soluciones constructivas realizadas en el edificio (en términos de demanda), así como las soluciones de climatización y ventilación utilizadas en los sistemas.

La modelización del edificio se ha realizado teniendo en cuenta la documentación as-built del edificio y los datos de los modelos existentes (forma y orientación del edificio, cerramientos, sistemas de climatización, etc.), introduciendo dicho dato directamente en el modelo, o un equivalente en términos energéticos cuando dicha introducción no ha sido posible.

5.2.3.1 Principales características constructivas

Se resumen aquí los datos principales que caracterizan el edificio. Para mayor información véase las descripciones en el capítulo anterior.

Forma y orientación

El Edificio LUCIA posee la forma en zigzag de la fachada que produce un auto sombreado y un alero metálico a la altura del forjado de la planta superior en cada ventana, para todas las ventanas en orientación este y oeste. (figura 5.10)

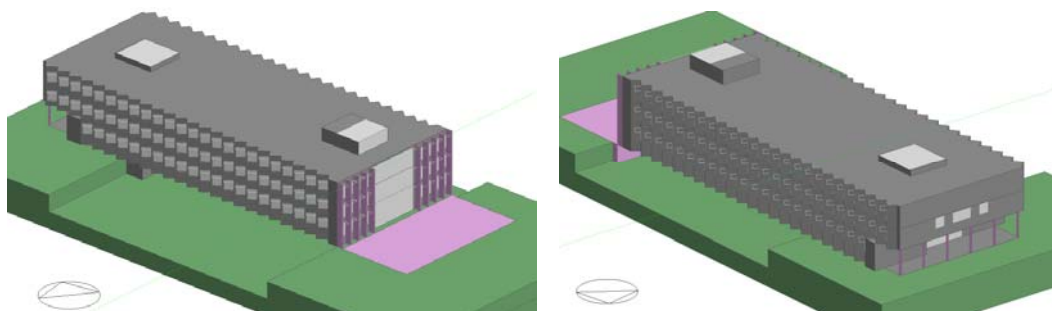


Figura 5.10 La modelización del edificio incluye la forma en zigzag de las fachadas este y oeste, y las protecciones solares de las ventanas. La fachada sur dispone de un muro cortina con fachada de doble piel y de ventanas protegidas con aleros y faldones; la fachada Norte posee muy pocas superficies acristaladas

Superficies modelizadas

Debido a la ausencia de zonas climatizadas en la planta sótano, ésta planta se ha simulado como no climatizada.

Aleros y faldones

Se han insertado en el modelo los aleros y faldones de la fachada sur, y se ha considerado que las fachadas fotovoltaicas poseen sistemas que producen un sombreado equivalente al producido por los sistemas de doble piel.

Cubierta

Forjado de pre losa, con 20 cm de aislamiento de XPS en la cara superior, y 10 cm de sustrato vegetal. $U = 0,151 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Cerramiento paneles prefabricados

Panel de hormigón aligerado con XPS, con 16 cm de aislamiento de fibras de madera en trasdosado y terminación interior en pladur. $U = 0,165 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Forjado en contacto con el exterior

Forjado de pre losa, con 20 cm de aislamiento de XPS en la cara interior, y suelo técnico con acabado cerámico de terminación. $U = 0,153 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Vidrios

Guardian Float Extraclear 6.00 mm, Cámara aire 16 mm con relleno argón al 90%, Laminar 4+4.1 Climaguard Premium 8.38 mm, Factor solar 0,61, Transmitancia solar 48%, Coef. Transmisión térmica $U = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

5.2.3.2 Características del sistema de climatización

La unidad exterior de ventilación suministra aire “neutro” 100% exterior a caudal constante. El calor y el frío de asociados a la ventilación son proporcionados por ésta unidad, mientras que el calor de cada estancia se proporciona mediante un sistema de FanCoils.

Se colocan FanCoils locales a 4 tubos para la climatización de cada local. Cada fancoil dispone de la potencia prevista en proyecto en cada estancia, o la suma de potencia de todos los FanCoils cuando se han unido varias salas. Figura 5.11

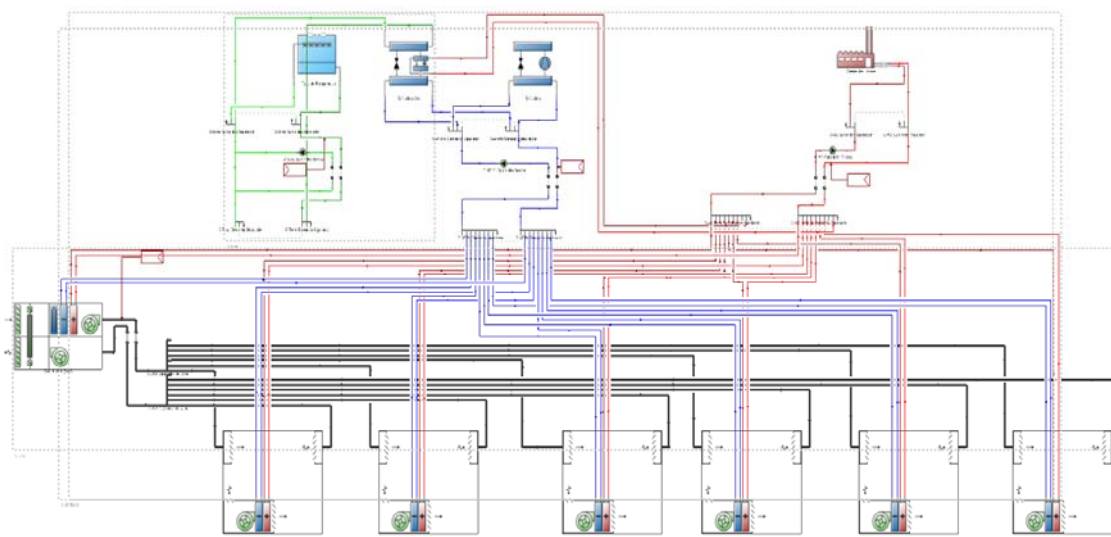


Figura 5.11 En la imagen se aprecia la zonificación realizada en los sistemas de tubería para alimentar a los FanCoils y la UTA de aire primario. La disposición es a 4 tubos

Caldera de biomasa de 85% de rendimiento respecto al PCS.

Equipo de absorción de eficiencia energética 0,7 como producción primaria.
Potencia 147 kW

Enfriadora convencional suplementaria refrigerada por aire con características energéticas iguales al grupo de proyecto. Potencia instalada 232,7 kW, EER 3.3

Torre de refrigeración con ventiladores dotados de variador de velocidad

Ventiladores y aire exterior de ventilación:

- Caudal de aire de los ventiladores: 20.905 m³/h
- Caudal de aire exterior mínimo: 20.905 m³/h (100%)
- Caudal constante, la unidad principal es ventilación 100% constante
- Temperatura constante en función del modo de verano o invierno de la instalación.

Posibilidad de Free Cooling en la UTA principal cuando el sistema entrega frío en las estancias (figura 5.12).

Recuperación de calor del 60% de eficiencia sensible en la Roof-Top.

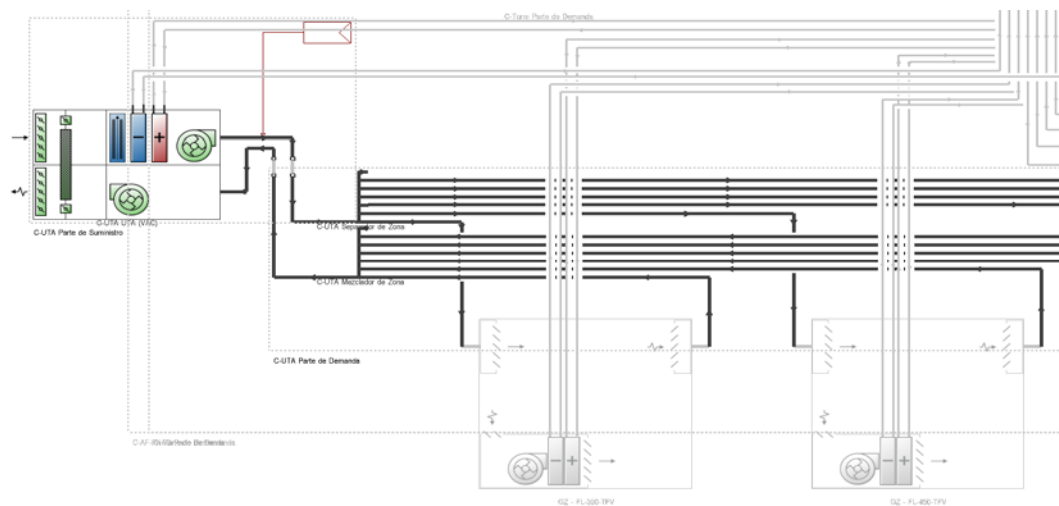


Figura 5.12 En la imagen se aprecia la forma de simular una UTA de aire primario con free cooling y recuperación de calor, y FanCoils de zona

5.2.3.3 Características de los pozos geotérmicos tierra-aire

Para simular adecuadamente el efecto de los pozos canadienses se ha tomado como referencia los datos de medición real obtenidos de uno de los múltiples análisis y estudios realizados por el Departamento de Ingeniería energética y fluidomecánica de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid [5] (figura 5.13).

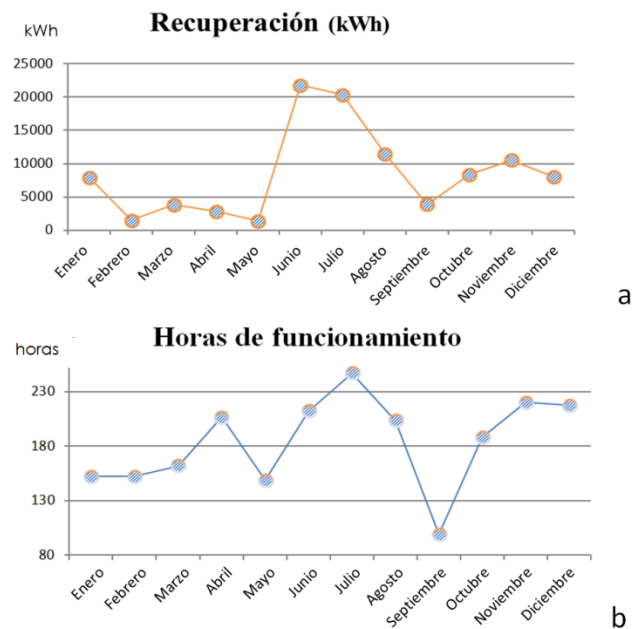


Figura 5.13 a. Recuperación en kWh del EAHX por meses; b. Horas de funcionamiento del EAHX por meses

Los pozos se han simulado empleando unas baterías de calor/frío virtuales, con sistemas de generación de energía tomando como referencia media o moda la temperatura de salida de pozos (figura 5.14).



Figura 5.14 Gráfico del funcionamiento de los pozos simulado en el software

5.2.3.4 Sistemas no modelizados

Los sistemas fotovoltaicos del edificio no han sido incluidos en el modelo informático debido a que el proceso de modelización no garantiza resultados adecuados y se poseen datos reales del rendimiento. La producción fotovoltaica se basa en estudios realizados, y queda incluida en los resultados tras la finalización del plan de medición y verificación.

Tabla 5.1 Producción promedio de electricidad por cada composición fotovoltaica

	Fachada sur doble piel	Lucernario sur horizontal	Lucernario sur vertical	Lucernario norte horizontal
Promedio	kWh	kWh	kWh	kWh
Enero	686,00	69,70	43,88	85,50
Febrero	904,00	113,50	59,43	145,20
Marzo	1.060,00	178,60	71,30	243,40
Abril	974,00	214,20	65,59	304,50
Mayo	938,00	250,30	63,60	366,00
Junio	905,00	281,60	61,84	415,30
Julio	981,00	287,20	67,15	420,50
Agosto	1.070,00	254,40	73,44	363,70
Septiembre	995,00	195,40	72,97	268,60
Octubre	953,00	130,30	63,76	169,70
Noviembre	629,00	73,40	40,95	94,10

Diciembre	656,00	59,30	41,63	70,10	
TOTAL	10.751,00	2.107,90	725,54	2.946,60	16.531,04

Junto con esta fotovoltaica integrada, se han instalado posteriormente en la cubierta varios módulos de paneles más, de diferentes características, dentro de varios programas de investigación.

Se trata de 20 paneles de Silicio policristalino de 330 W, (que suponen 6.6 kW) y 9 paneles bifaciales de Silicio monocristalinos de 400 W (que suponen 3,6 kW), por lo que la potencia total instalada es 10,2 kW. Dado que los bifaciales se han instalado recientemente, no hay suficiente medición para obtener un promedio de generación anual, pero consideramos válido producción de este primer año de 10.050 kWh. Por tanto, la generación de electricidad final mediante sistemas fotovoltaicos es de 26.580 kWh.

No obstante, como elementos característicos de la envolvente, para la simulación se han introducido con los siguientes criterios:

Fachada fotovoltaica de doble piel

La fachada de doble piel se simulado como un muro cortina de muy altas prestaciones térmicas, y con protección solar equivalente a la solución dispuesta. Para el estudio de la fachada de doble piel, se realizó un análisis específico que ahorros energéticos producido por la misma (referencia [W9] del capítulo 4).

Lucernarios fotovoltaicos

Se han incluido en el modelo informático como vidrios con el coeficiente de transmisión solar térmica y los datos referentes a la protección solar.

5.2.4 Introducción de datos para la modelización del edificio de referencia para la normativa española CTE

Uno de los objetivos de este trabajo es comparar el edificio proyectado con el edificio de referencia que fija la normativa española actual para el procedimiento de calificación energética. El edificio de referencia se modela

utilizando el documento oficial del IDAE [W3] donde se explican los parámetros que se tienen que utilizar para este proceso.

Dado que el software de simulación energética en España calcula el consumo final de energía, es necesario utilizar factores de conversión adecuados para obtener el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de CO₂. Para ello se ha tenido en cuenta las fuentes de energía y los rendimientos estacionales que impone la normativa española actual (0,92 para calefacción con gas natural y 2,6 para refrigeración con electricidad).

5.2.5 Resultados finales de los modelos simulados

5.2.5.1 Modelo 1: Edificio objeto (Edificio LUCIA zigzag)

Tabla 5.2 Tabla resumen de los consumos de energía (kWh) y emisiones (kg de CO₂) del *edificio LUCIA* incluyendo el equipamiento

(EF: Energía Final; EP_{nren}: Energía Primaria no renovable; EP_{total}: Energía Primaria total)

Edificio LUCIA zigzag								
	Demanda	EF	Coef paso EP _{nren}	EP_{nren}	Coef paso EP _{total}	EP_{total}	Coef paso CO ₂	Emisiones CO₂
	<i>kWh</i>	<i>kWh</i>	<i>kWh/kWh</i>	<i>kWh</i>	<i>kWh/kWh</i>	<i>kWh</i>	<i>kgCO₂/kWh</i>	<i>kgCO₂</i>
Calefacción		28.883,5	0,034	982,0	1,037	29.952,2	0,018	519,9
Refrigeración		53.533,0	1,954	104.603,5	2,368	204.395,3	0,331	17.719,4
Iluminación		54.295,2	1,954	106.092,8	2,368	207.305,3	0,331	17.971,7
Ventiladores		39.381,6	1,954	76.951,7	2,368	150.363,7	0,331	13.035,3
Bombas		2.614,1	1,954	5.108,0	2,368	9.981,0	0,331	865,3
Equipos misc.		182.810,5	1,954	357.211,7	2,368	697.991,7	0,331	60.510,3
TOTALES		361.517,9		650.949,7		1.299.989,1		110.621,9

Tabla 5.3 Tabla resumen de los consumos de energía (kWh/m²) y emisiones (kg de CO₂/m²) del *edificio LUCIA*, sin el equipamiento

(EF: Energía Final; EP_{nren}: Energía Primaria no renovable; EP_{total}: Energía Primaria total)

Edificio LUCIA zigzag

	Demanda	EF	Coef paso EP _{nren}	EP _{nren}	Coef paso EP _{total}	EP _{total}	Coef paso CO ₂	Emisiones CO ₂
		kWh/m ²	kWh/kWh	kWh/m ²	kWh/kWh	kWh/m ²	kgCO ₂ /kWh	kgCO ₂ /m ²
Calefacción		4,89	0,034	0,17	1,037	5,08	0,018	0,09
Refrigeración		9,07	1,954	17,72	2,368	34,63	0,331	3,00
Iluminación		9,20	1,954	17,98	2,368	35,13	0,331	3,05
Ventiladores		6,67	1,954	13,04	2,368	25,48	0,331	2,21
Bombas		0,44	1,954	0,87	2,368	1,69	0,331	0,15
TOTALES		30,28		49,77		102,01		8,50

5.2.5.2 Modelo 2: Edificio de referencia CTE zigzag

Tabla 5.4 Tabla resumen de los consumos de energía (kWh) y emisiones (kg de CO₂) del *edificio de referencia CTE* incluyendo el equipamiento

(EF: Energía Final; EP_{nren}: Energía Primaria no renovable; EP_{total}: Energía Primaria total)

Edificio de referencia CTE zigzag

	Demanda	EF	Coef paso EP _{nren}	EP _{nren}	Coef paso EP _{total}	EP _{total}	Coef paso CO ₂	Emisiones CO ₂
	kWh	kWh	kWh/kWh	kWh	kWh/kWh	kWh	kgCO ₂ /kWh	kgCO ₂
Calefacción	68633,43	74.601,6	1,190	88.775,8	1,195	89.148,9	0,252	18.799,6
Refrigeración	156076,8	60.029,5	1,954	117.297,7	2,368	229.199,7	0,331	19.869,8
Iluminación		70.496,7	1,954	137.750,5	2,368	269.164,4	0,331	23.334,4
Ventiladores								
Bombas								
Equipos misc.		182.810,5	1,954	357.211,7	2,368	697.991,7	0,331	60.510,3
TOTALES		387.938,2		701.035,7		1.285.504,7		122.514,0

Tabla 5.5 Tabla resumen de los consumos de energía (kWh/m²) y emisiones (kg de CO₂/m²) del *edificio de referencia CTE*, sin el equipamiento

(EF: Energía Final; EP_{nren}: Energía Primaria no renovable; EP_{total}: Energía Primaria total)

Energía Final (kWh/m²)		
Calefacción	9,35	10,94
Refrigeración	19,25	10,09
Iluminación	7,65	7,80
Ventiladores	7,07	7,59
Bombas	1,05	0,45
TOTALES	44,4	36,9

Como puede verse, las necesidades de energía para refrigeración se reducen prácticamente a la mitad (48%) con la introducción del factor solar en los vidrios al encontrarse la gran mayoría de las ventanas en orientación este y oeste, sin apenas incremento en el resto de consumos.

Tabla 5.7 Tabla resumen de los consumos de energía (kWh) y emisiones (kg de CO₂) del *edificio LUCIA cuadrado* incluyendo el equipamiento

(EF: Energía Final; EP_{nren}: Energía Primaria no renovable; EP_{total}: Energía Primaria total)

Edificio LUCIA cuadrado

	Demanda	EF	Coef paso EP_{nren}	EP_{nren}	Coef paso EP_{total}	EP_{total}	Coef paso CO₂	Emisiones CO₂
	<i>kWh</i>	<i>kWh</i>	<i>kWh/kWh</i>	<i>kWh</i>	<i>kWh/kWh</i>	<i>kWh</i>	<i>kgCO₂/kWh</i>	<i>kgCO₂</i>
Calefacción		64.541,6	0,034	2.194,4	1,037	66.929,6	0,018	1.161,7
Refrigeración		59.524,5	1,954	116.310,9	2,368	227.271,6	0,331	19.702,6
Iluminación		46.002,7	1,954	89.889,3	2,368	175.643,7	0,331	15.226,9
Ventiladores		44.768,2	1,954	87.477,1	2,368	170.930,3	0,331	14.818,3
Bombas		2.655,9	1,954	5.189,6	2,368	10.140,5	0,331	879,1
Equipos misc.		190.843,2	1,954	372.907,6	2,368	728.661,5	0,331	63.169,1
TOTALES		408.336,1		673.969,0		1.379.577,1		114.957,7

Tabla 5.8 Tabla resumen de los consumos de energía (kWh/m²) y emisiones (kg de CO₂/m²) del *edificio LUCIA cuadrado*, sin el equipamiento

(EF: Energía Final; EP_{nren}: Energía Primaria no renovable; EP_{total}: Energía Primaria total)

Edificio LUCIA cuadrado

	Demanda	EF	Coef paso EP _{nren}	EP_{nren}	Coef paso EP _{total}	EP_{total}	Coef paso CO ₂	Emisiones CO₂
		<i>kWh/m²</i>	<i>kWh/kWh</i>	<i>kWh/m²</i>	<i>kWh/kWh</i>	<i>kWh/m²</i>	<i>kgCO₂/kWh</i>	<i>kgCO₂/m²</i>
Calefacción		10,94	0,034	0,4	1,037	11,3	0,018	0,2
Refrigeración		10,09	1,954	19,7	2,368	38,5	0,331	3,3
Iluminación		7,80	1,954	15,2	2,368	29,8	0,331	2,6
Ventiladores		7,59	1,954	14,8	2,368	29,0	0,331	2,5
Bombas		0,45	1,954	0,9	2,368	1,7	0,331	0,1
TOTALES		36,9		51,0		110,3		8,8

5.2.5.4 Modelo 4: Edificio de referencia CTE cuadrado

Este modelo se realiza porque debería ser el edificio de referencia con el que comparar el edificio objeto para poder valorar las condiciones de diseño. Como se verá en la evaluación de los resultados, las reducciones de demanda logradas por el diseño del edificio como la orientación, el grado de compacidad, la distribución y tamaño de huecos, etc., son asumidos también por el edificio de referencia y, por lo tanto, al efectuar la comparación resulta más desfavorable para el edificio propuesto.

Tabla 5.9 Tabla resumen de los consumos de energía (kWh) y emisiones (kg de CO₂) del *edificio de referencia CTE cuadrado* incluyendo el equipamiento

(EF: Energía Final; EP_{nren}: Energía Primaria no renovable; EP_{total}: Energía Primaria total)

Edificio de referencia CTE cuadrado

	Demanda	EF	Coef paso EP _{nren}	EP_{nren}	Coef paso EP _{total}	EP_{total}	Coef paso CO ₂	Emisiones CO₂
	<i>kWh</i>	<i>kWh</i>	<i>kWh/kWh</i>	<i>kWh</i>	<i>kWh/kWh</i>	<i>kWh</i>	<i>kgCO₂/kWh</i>	<i>kgCO₂</i>
Calefacción	72006,74	78.268,2	1,190	93.139,2	1,195	93.530,5	0,252	19.723,6
Refrigeración	215566,01	82.910,0	1,954	162.006,1	2,368	316.560,0	0,331	27.443,2
Iluminación		66.538,9	1,954	130.016,9	2,368	254.053,0	0,331	22.024,4
Ventiladores								
Bombas								
Equipos misc.		182.810,5	1,954	357.211,7	2,368	697.991,7	0,331	60.510,3
TOTALES		410.527,5	kWh	742.373,9	kWh	1.362.135,2	kWh	129.701,4

Tabla 5.10 Tabla resumen de los consumos de energía (kWh/m²) y emisiones (kg de CO₂/m²) del *edificio de referencia CTE cuadrado*, sin el equipamiento

(EF: Energía Final; EP_{nren}: Energía Primaria no renovable; EP_{total}: Energía Primaria total)

Edificio de referencia CTE cuadrado								
	Demanda	EF	Coef paso EP _{nren}	EP_{nren}	Coef paso EP _{total}	EP_{total}	Coef paso CO ₂	Emisiones CO₂
		kWh/m ²	kWh/kWh	kWh/m ²	kWh/kWh	kWh/m ²	kgCO ₂ /kWh	kgCO ₂ /m ²
Calefacción	12,20	13,3	1,190	15,8	1,195	15,8	0,252	3,3
Refrigeración	36,53	14,0	1,954	27,5	2,368	53,6	0,331	4,7
Iluminación		11,3	1,954	22,0	2,368	43,0	0,331	3,7
Ventiladores								
Bombas								
TOTALES		38,6		65,3		112,5		11,7

5.2.6 Comparativa de los cuatro modelos

Se comparan a continuación los cuatro modelos propuestos entre sí y conjuntamente con los límites de consumo que marca la normativa en la Sección HE 0 Limitación del consumo energético [W1].

Para encontrar estos valores límites en edificios de uso distinto del residencial privado, se necesita calcular la carga interna media para la semana tipo. En este caso, dicha carga se calcula en base a los siguientes criterios:

- Carga interna por personas: 15.000 W correspondientes a 150 personas de ocupación por 100 W/persona.
- Carga interna por equipos: 66.663,1 W correspondientes a los 182.810,5 kWh del equipamiento (tabla 5.2, en base a los datos del apartado 5.2.2.1 Características comunes de todos los modelos. Equipamiento interior del edificio).
- Carga interna por iluminación: 20.416,9 W correspondientes a los 54.295,2 kWh de iluminación (tabla 5.2).

Por lo que la carga interna media (C_{Fi}) resultante es de 17,3 W/m² (nivel de carga interna *muy alta* según la Tabla a-del Anejo A del DB HE) lo que supone, para la zona climática de invierno “D” (para Valladolid), un valor límite de consumo de energía primaria no renovable C_{ep,nren,lim} (Tabla 3.1.b -

HEO) de 158,4 kWh/m², y un consumo de energía primaria total $C_{ep,tot}$ (Tabla 3.2.b - HEO) de 285,7 kWh/m².

No obstante, estos valores no son representativos, ya que todos los modelos presentan un consumo notablemente inferior (tabla 5.11), incluso estarían por debajo del valor límite $C_{ep,nren,lim}$ para carga interna baja (< 184 kWh/m²) y del $C_{ep,nren,lim}$, también para carga interna baja (< 68 kWh/m²).

La tabla 5.11 también muestra los ahorros en todos los indicadores entre el modelo de referencia que debería establecerse (edificio de referencia cuadrado CTE) y el resto de los modelos. Se comprueba como los ahorros son superiores al 20% en todos salvo en la energía primaria total, al no considerar los edificios de referencia la energía de ventilación.

En las figuras 5.15 y 5.16 se aprecian los ahorros en energía primaria no renovable y en emisiones de CO₂ entre los cinco modelos propuestos, ya que se ha incluido el modelo 3 y 3'.

Tabla 5.11 Tabla resumen comparativa de los consumos de energía (kWh/m²) y emisiones (kg de CO₂/m²) de los cuatro modelos, sin el equipamiento; y el porcentaje de cada uno de ellos en relación con el *edificio de referencia CTE cuadrado* (modelo 4).

(EF: Energía Final; EP_{nren}: Energía Primaria no renovable; EP_{total}: Energía Primaria total)

Nº	Modelo	EF		EP _{nren}		EP _{total}		Emisiones de CO ₂	
		kWh/m ²	%	kWh/m ²	%	kWh/m ²	%	Kg CO ₂ /m ²	%
1	Edificio LUCIA	30,03	-21,5%	49,8	-23,7%	102,0	-9,4%	8,5	-27,6%
2	Edificio LUCIA cuadrado + factor solar	36,9	-4,5%	51,0	-21,8%	110,3	-2,0%	8,8	-25,2%
3'	Edificio de referencia CTE zigzag	34,76	-9,9%	58,26	-10,7%	99,56	-11,5%	10,51	-10,4%
4	Edificio de referencia CTE cuadrado	38,6	0,0%	65,3	0,0%	112,5	0,0%	11,7	0,0%
Límite de consumo del edificio según CTE:				167,3		285,7			

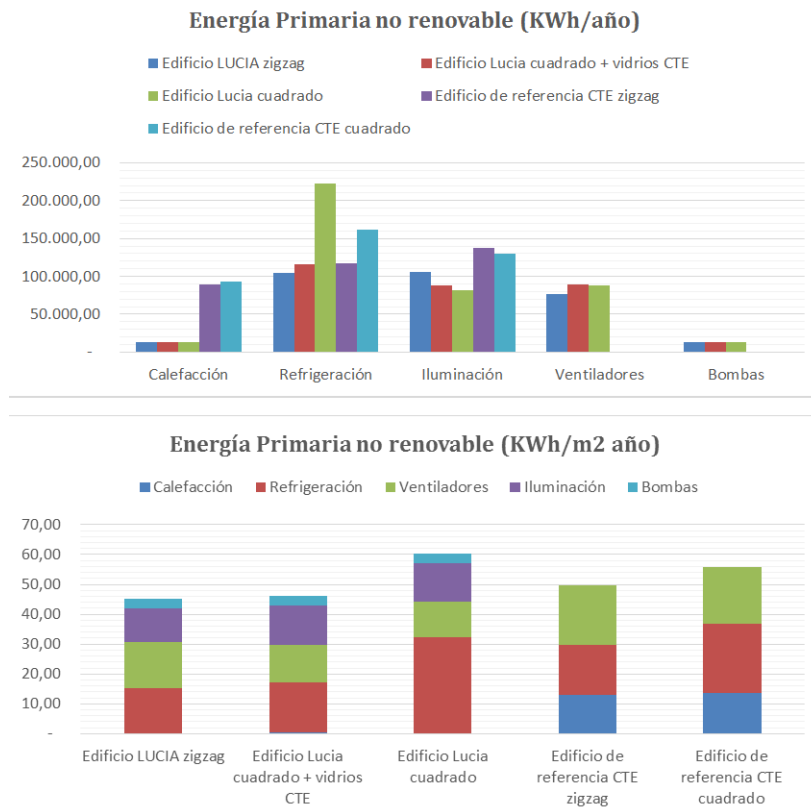


Figura 5.15 Comparativa de los consumos de energía primaria no renovable

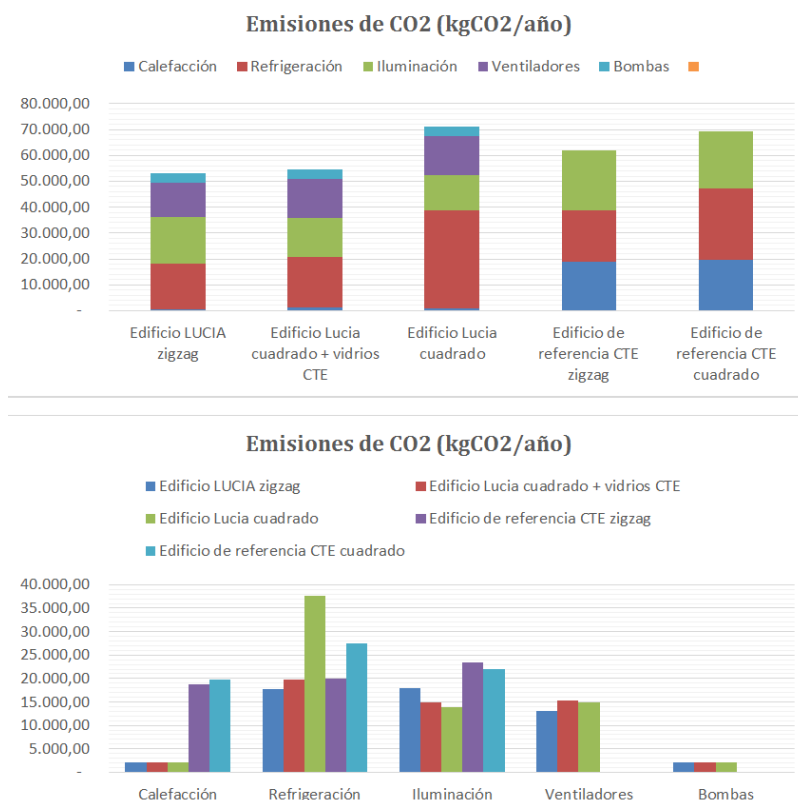


Figura 5.16 Comparativa de emisiones de CO₂

5.2.7 Evaluación de los resultados

En este apartado se compararán principalmente los valores de energía primaria total y las emisiones de CO₂, entre los diferentes modelos para comprobar la incidencia de las decisiones de diseño en la limitación de la demanda, así como la interacción de los diferentes sistemas técnicos del edificio para reducir el consumo final.

5.2.7.1 Comparación entre el *Edificio LUCIA zigzag* y el *edificio de referencia CTE zigzag*.

Esta sería la comparación con el edificio de referencia que establece la normativa, donde los ahorros de consumo de energía se basan en las mejoras del aislamiento general de la envolvente (muros y cubierta exteriores, forjados y suelos, y transmitancia y factor solar de huecos), y de la mejor eficiencia energética de los sistemas de calefacción y refrigeración;

pero que no permite valorar el diseño de la forma y orientación del edificio, la distribución y tamaño de los huecos, los consumos de los sistemas de ventilación, que pueden llegar al 25-30% de todo el uso de energía, la incorporación de sistemas auxiliares como los pozos canadienses, o los sistemas de refrigeración pasiva, entre otros.

Como se puede observar en la comparativa (tabla 5.12), el incremento del aislamiento de la envolvente y la eliminación de puentes térmicos, unido a la alta carga interna y el recuperador de calor, permite un ahorro del 66% en calefacción.

Por su parte, también se produce un ahorro en refrigeración de casi el 11%, más vinculado a la mejora que suponen los pozos geotérmicos, al mantener las condiciones de confort con el aire de ventilación en muchos momentos que se necesitaría refrigeración.

Tabla 5.12 Tabla comparativa de los consumos de energía primaria total (kWh/m²) y emisiones (kg de CO₂/m²) y el porcentaje de ahorro del *edificio LUCIA* en relación con el *edificio de referencia CTE zigzag*.

	Edificio LUCIA zigzag	Edificio de refer. CTE zigzag	% ahorro
EP total (kWh/m²)			
Calefacción	5,08	15,11	-66,4%
Refrigeración	34,63	38,84	-10,8%
Iluminación	35,13	45,61	-23,0%
Ventiladores	25,48		
Bombas	1,69		
TOTALES	102,01	99,56	2,5%
Emisiones CO₂ (kgCO₂/m²)			
Calefacción	0,09	3,19	-97,2%
Refrigeración	3,00	3,37	-10,9%
Iluminación	3,05	3,95	-22,9%
Ventiladores	2,21		
Bombas	0,15		
TOTALES	8,50	10,51	-19,1%

No obstante, y pese al ahorro que también se produce en la iluminación, el resultado de la energía primaria total es desfavorable al no considerarse en el edificio de referencia el uso de energía de la ventilación necesaria para garantizar la mejora de la calidad de aire interior, que en este caso supone prácticamente la cuarta parte del total.

Es por esto que se hace necesario que el edificio de referencia sea un edificio construido como de costumbre, para que las decisiones de diseño se puedan valorar. Por ello se considera que la comparación correcta debería ser con el edificio de referencia CTE cuadrado

Por lo que respecta a las emisiones, el principal factor de ahorro, además de las producidas por los menores consumos, radica en el uso de biomasa para la calefacción.

5.2.7.2 Comparación entre el *edificio de referencia CTE zigzag* y el *edificio de referencia CTE cuadrado + vidrios CTE*.

Esta comparación (tabla 5.13) permite evaluar con más claridad lo ahorros de energía y de sus emisiones asociadas debidas a las decisiones de diseño y la incorporación de sistemas pasivos de climatización.

Tabla 5.13 Tabla comparativa de los consumos de energía primaria total (kWh/m²) y emisiones (kg de CO₂/m²) y el porcentaje de ahorro del *edificio de referencia CTE zigzag* en relación con el *edificio de referencia CTE cuadrado + vidrios CTE*.

	Edificio de refer. CTE zigzag	Edificio de refer. CTE cuadrado +	% ahorro
EP total (kWh/m²)			
Calefacción	15,11	15,85	-4,7%
Refrigeración	38,84	53,64	-27,6%
Iluminación	45,61	43,05	5,9%
TOTALES	99,55	112,54	-11,5%
Emisiones CO₂ (kgCO₂/m²)			
Calefacción	3,19	3,34	-4,7%
Refrigeración	3,37	4,65	-27,6%
Iluminación	3,95	3,73	5,9%
TOTALES	10,51	11,72	-10,4%

En un edificio terciario con alta carga interna, las ganancias solares son siempre perjudiciales, incluso en invierno, por tanto, cualquier estrategia de diseño pasivo es fundamental para reducir las demandas de refrigeración.

En esta comparación se muestra claramente el ahorro en refrigeración que supone el giro de la fachada para el autosombreado y la disposición de los huecos, ya que el resto de características constructivas y de las instalaciones son idénticas en ambos edificios, suponiendo más del 25%.

5.2.7.3 Comparación entre el *Edificio LUCIA zigzag* y el *edificio de referencia CTE cuadrado*.

Esta comparación (tabla 5.14) sería la correcta para valorar adecuadamente las mejoras en eficiencia energética de todas las estrategias de diseño funcionado conjuntamente, respecto a las establecidas en los códigos y normas básicas de la construcción.

Tabla 5.14 Tabla comparativa de los consumos de energía primaria total (kWh/m²) y emisiones (kg de CO₂/m²) y el porcentaje de ahorro del *edificio LUCIA* en relación con el *edificio de referencia CTE cuadrado*.

	Edificio LUCIA zigzag	Edificio de refer. CTE cuadrado	% ahorro
EP total (kWh/m²)			
Calefacción	5,08	15,85	-67,9%
Refrigeración	34,63	53,64	-35,4%
Iluminación	35,13	43,05	-18,4%
Ventiladores	25,48		
Bombas	1,69		
TOTALES	102,01	112,54	-9,4%
Emisiones CO₂ (kgCO₂/m²)			
Calefacción	0,09	3,34	-97,3%
Refrigeración	3,00	4,65	-35,5%
Iluminación	3,05	3,73	-18,3%
Ventiladores	2,21		
Bombas	0,15		
TOTALES	8,50	11,72	-27,5%

Se comprueba claramente que, en conjunto, todas las acciones de diseño encaminadas a la reducción de la demanda consiguen importantes ahorros de energía: la mejora generalizada de la envolvente, el sistema de recuperación de calor y la aportación de los pozos canadienses, proporciona ahorros de más de dos terceras partes de la energía para calefacción; la reorientación de la ventanas y su sombreado, con el aporte también de los pozos canadienses consigue ahorrar más de un tercio del uso de energía para refrigeración; y las estrategias de mejora de la iluminación natural favorecen ahorros de casi el 20% en iluminación.

En cuanto a las reducciones de emisiones de CO₂, como en los casos anteriores se vinculan directamente con los ahorros de energía y principalmente con el uso de la biomasa para calefacción.

Por tanto, se puede concluir que el actual sistema de calificación energética no permite, en determinadas condiciones y para edificios con grandes consumos, valorar correctamente las decisiones de diseño bioclimático o pasivo. Esto puede verse si se comparan los ahorros obtenidos en las tablas 5.12 y 5.14 (tabla 5.15).

Tabla 5.15 Tabla comparativa de la diferencia del porcentaje de ahorro de energía primaria total (%) y emisiones (%) del *edificio LUCIA* en relación con el *edificio de referencia CTE zigzag* y el *edificio de referencia CTE cuadrado*.

	% ahorro Ed. de refer. CTE zigzag	% ahorro Ed. de refer. CTE cuadrado	Diferencia
EP total (kWh/m²)			
Calefacción	-66,4%	-67,9%	1,5%
Refrigeración	-10,8%	-35,4%	24,6 %
Iluminación	-23,0%	-18,4%	-4,6%
TOTALES	2,5%	-9,4%	11,9%
Emisiones CO₂ (kgCO₂/m²)			
Calefacción	-97,2%	-97,3%	0,1%
Refrigeración	-10,9%	-35,5%	24,6%
Iluminación	-22,9%	-18,3%	-4,6%
TOTALES	-19,1%	-27,5%	8,4%

Estas diferencias, muy similares a los datos obtenidos en la tabla 5.13, representa los ahorros de energía no contabilizados si se usa un edificio de referencia con los mismo criterios de diseño que el edificio objeto, y esto puede llevar a que edificios claramente diseñados para el consumo de energía casi nulo no obtengan una certificación energética adecuada.

Para finalizar, al edificio objeto definido en tabla 5.3, habría que añadirle la producción fotovoltaica y volver a compararlo con el edificio de referencia definido en la tabla 5.10, con lo que la tabla 5.14 quedaría como (tabla 5.16):

Tabla 5.16 Tabla comparativa de los consumos de energía primaria total y emisiones, y el porcentaje de ahorro del *edificio LUCIA* en relación con el *edificio de referencia CTE cuadrado + vidrios CTE*, incluyendo la producción fotovoltaica.

	Edificio LUCIA zigzag	Edificio de refer. CTE cuadrado	% ahorro
EP total (kWh/m²)			
Calefacción	5,08	15,85	-67,9%
Refrigeración	34,63	53,64	-35,4%
Iluminación	35,13	43,05	-18,4%
Ventiladores	25,48		
Bombas	1,69		
PV	-17,18		
TOTALES	84,83	112,54	-24,6%
Emisiones CO₂ (kgCO₂/m²)			
Calefacción	0,09	3,34	-97,3%
Refrigeración	3,00	4,65	-35,5%
Iluminación	3,05	3,73	-18,3%
Ventiladores	2,21		
Bombas	0,15		
PV	-1,49		
TOTALES	7,00	11,72	-40,2%

Como se puede observar en la tabla 5.16, el ahorro obtenido en relación con el edificio de consumo de energía casi nulo que se establece en el actual CTE (edificio de referencia), una vez introducida la generación fotovoltaica, es en torno al 25% en energía primaria total, que traducido en emisiones se transforma en una reducción del 40%.

Los resultados son similares para la energía primaria no renovable (figura 5.16), tal y como se describe en la tabla 5.17, donde se realiza la comparativa, para energía primaria no renovable, entre el edificio LUCIA y cada uno de los edificios de referencia, con su porcentaje de ahorro, y la diferencia entre estos ahorros para confirmar, nuevamente, la importancia del diseño en la reducción del uso de energía.

Se destaca la reducción del 25% en refrigeración, dato similar al obtenido para la energía primaria total de la tabla 5.15, con la misma explicación.

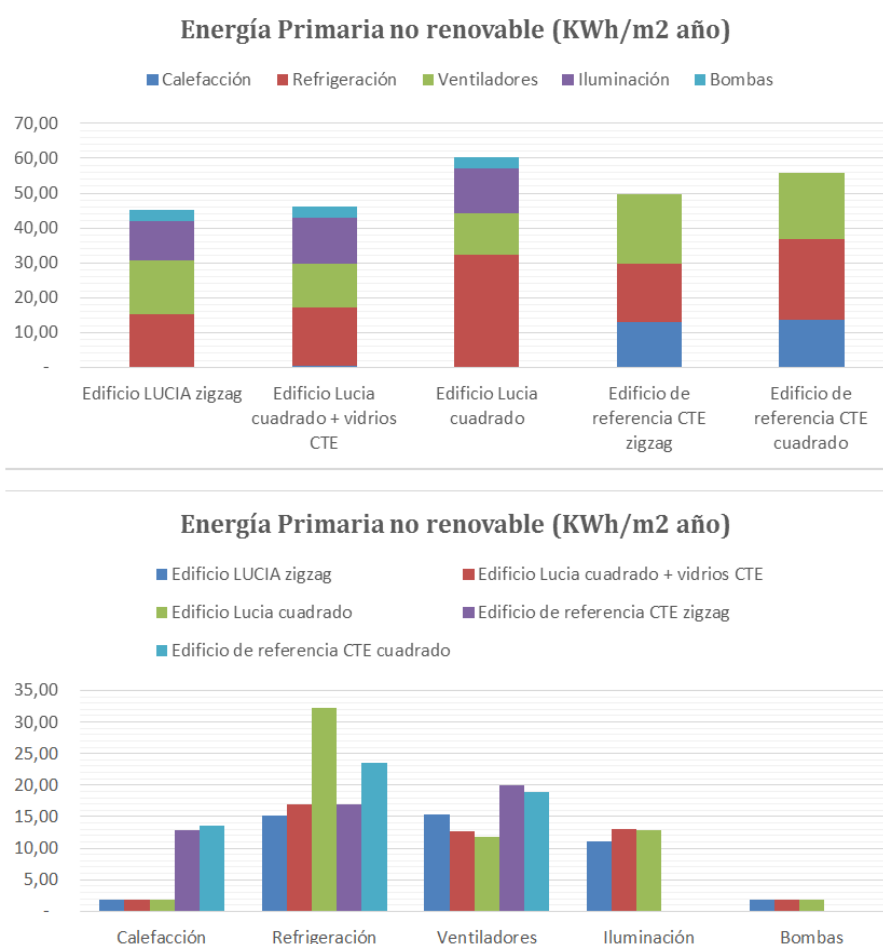


Figura 5.17 Comparativa de energía primaria no renovable

Tabla 5.17 Tabla comparativa de la diferencia del porcentaje de ahorro de energía primaria total (%) y emisiones (%) del *edificio LUCIA* en relación con el *edificio de referencia CTE zigzag* y el *edificio de referencia CTE cuadrado*.

	Edificio LUCIA zigzag	Edificio de refer. CTE cuadrado	% ahorro (1)	Edificio de refer. CTE zigzag	% ahorro (2)	Diferencia (1)- (2)
EP no renv (kWh/m²)						
Calefacción	0,17	15,08	-99%	15,04	-99%	0%
Refrigeración	17,72	27,75	-36%	19,98	-11%	-25%
Iluminación	17,98	22,00	-18%	23,24	-23%	+5%
Ventiladores	11,15					
Bombas	13,04					
TOTALES	49,8	65,3	-24%	58,3	-15%	-9%

A modo de resumen, la figura 5.17 muestra para cada modelo la comparativa para la energía final, la energía primaria no renovable y la energía primaria total.

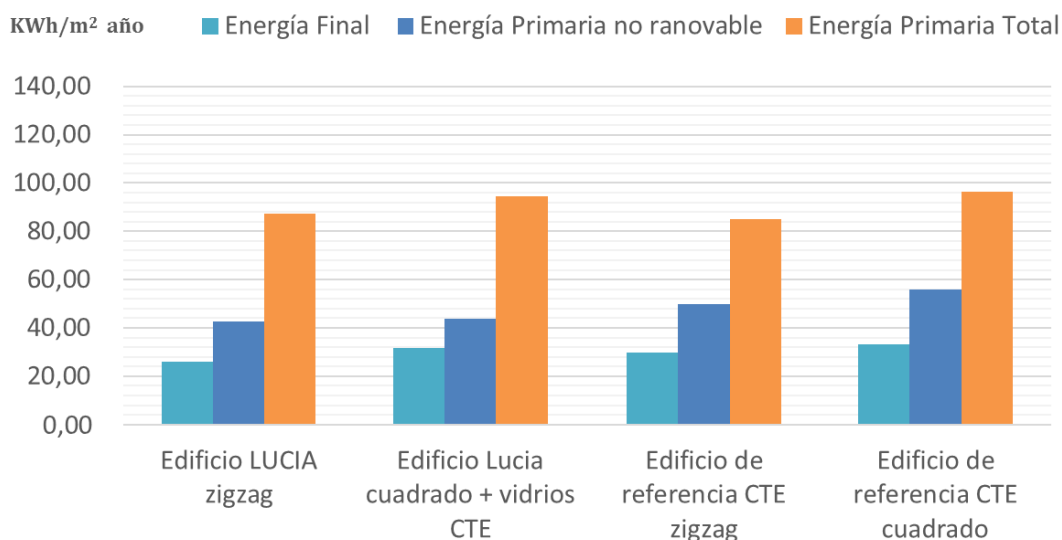


Figura 5.18 Comparativa de usos de energía en los cuatro modelos

Por , último, para comprobar la fiabilidad de las simulaciones, se comparan a continuación los consumos eléctricos obtenidos de las mediciones

efectuadas en el edificio mediante los analizadores de redes, como promedio, con los consumos obtenidos con la simulación para el año tipo.

Tabla 5.18 Consumo promedio mensual de electricidad medida en el *edificio LUCIA*

	Total edificio	Refrigeración y bombas				Ventiladores		Iluminación y otros
		Sala clima (bombas y otros)	Enfriadora	Absorción	Torre	Aire primario impulsión	Aire primario retorno	
	kWh/m ²							
Enero	1,66	0,52	0,000	0,002	0,002	0,23	0,20	0,70
Febrero	1,33	0,42	0,000	0,003	0,002	0,10	0,09	0,71
Marzo	1,82	0,73	0,062	0,003	0,003	0,15	0,13	0,76
Abril	1,75	0,61	0,049	0,000	0,002	0,16	0,14	0,79
Mayo	1,85	0,76	0,047	0,003	0,001	0,20	0,17	0,67
Junio	1,20	0,44	0,042	0,002	0,001	0,12	0,10	0,48
Julio	2,10	0,56	0,830	0,002	0,003	0,18	0,15	0,38
Agosto	2,24	0,48	0,984	0,002	0,006	0,24	0,20	0,32
Septiembre	2,49	0,66	1,050	0,007	0,034	0,24	0,20	0,30
Octubre	1,49	0,36	0,347	0,009	0,049	0,14	0,11	0,47
Noviembre	1,92	0,54	0,167	0,016	0,082	0,35	0,30	0,46
Diciembre	1,80	0,47	0,000	0,011	0,051	0,32	0,28	0,66
		6,57	3,58	0,06	0,24	2,43	2,07	
Total anual	21,65	10,45				4,50		6,71

Tabla 5.19 Consumo mensual de electricidad estimado en la simulación.

	Total edificio	Refrigeración y bombas		Ventiladores	Iluminación y otros
		Refrigeración	Bombas		
	kWh/m ²				
Enero	3,58	0,03	0,009	0,48	0,79
Febrero	3,22	0,06	0,004	0,43	0,66
Marzo	3,45	0,19	0,007	0,45	0,63
Abril	3,37	0,27	0,011	0,44	0,58
Mayo	4,24	0,67	0,032	0,51	0,65
Junio	4,25	1,13	0,055	0,46	0,53
Julio	5,32	1,69	0,082	0,55	0,62
Agosto	5,17	1,69	0,080	0,52	0,60
Septiembre	4,51	1,19	0,058	0,48	0,61
Octubre	4,37	0,74	0,033	0,51	0,71
Noviembre	3,47	0,10	0,004	0,45	0,74
Diciembre	3,25	0,02	0,004	0,43	0,73
		7,76	0,38		
Total anual	21,71	8,14		5,71	7,87

Tabla 5.20 Comparativa entre las tabla 5.18 y 5.19.

	Total edificio	Refrigeración y bombas	Ventiladores	Iluminación y otros
	kWh/m ²			
Medido	23,86	9,84	5,64	8,38
Simulado	21,71	8,14	5,71	7,87
Diferencia	+ 9%	+ 17%	- 1%	+ 6%

Como se puede observar, el modelo se considera suficientemente calibrado, ya que la mayor diferencia se produce en refrigeración, debido a que el consumo medido incluye la sala de climatización con todas las bombas de circulación de agua (29 unidades), el humidificador y los FanCoils de cada planta, así como las pérdidas de distribución, que no se consideran en la simulación.

Referencias

Páginas web

- [W1] <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html>, último acceso julio 2020
- [W2] <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>, último acceso julio 2020
- [W3] <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/normativamodelosutilizacion/1-Condicionestecnicasprocedimientosparaevaluacioneficienciaenergetica.pdf>, último acceso septiembre 2020
- [W4] Design Builder Software Ltd. Design Builder, <http://www.designbuilder.co.uk>, último acceso mayo 2020
- [W5] U. S. Department of Energy. EnergyPlus, <http://www.energyplus.gov>, último acceso mayo 2020
- [W6] <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf>, último acceso septiembre 2020
- [W7] https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/ESP//ESP_Valladolid.081410_SWEC, último acceso septiembre 2020
- [W8] <https://www.usgbc.org/credits/new-construction-core-and-shell-schools-new-construction-retail-new-construction-commercial?view=resources>, último acceso septiembre 2020

Bibliografía

- [1] Harish V.S.K.V., and Kumar A., 2016, “Reduced Order Modeling and Parameter Identification of a Building Energy System Model Through an Optimization Routine,” *Applied Energy*, **162**, p.p. 1010-1023
- [2] Negendahl, K. 2015. Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models. *Automation in Construction* **54**, pp. 39–53.
- [3] Andarini, R. 2014. The role of building thermal simulation for energy efficient building design. *Energy procedia*, **47**, 217-226.
- [4] Ward, G., R. Mistrick, E. S. Lee, A. McNeil, and J. Jonsson. 2010. Simulating the daylight performance of complex fenestration systems using bidirectional scattering distribution functions within Radiance. *Leukos, Journal of the Illuminating Engineering Society of North America* 7(4).

- [5] Rey Hernández J.M., González González S.L., San José Alonso J.F., Tejero González A., Velasco Gómez E., y Rey Martínez F.J., 2018. *Design and characterization of a geothermal earth-air Heat exchanger (EAHX), applied to nZEB building*, IX Congreso Ibérico | VII Congreso Iberoamericano de las Ciencias y Técnicas del Frío (CYTEF 2018)

6 Conclusiones y nuevas líneas de investigación

6.1 Conclusiones

Las realizaciones de un número cada vez mayor de proyectos demostradores, como el edificio LUCIA, indican que las tecnologías existentes en el campo de la eficiencia y ahorro energético, y de las energías renovables son suficientes, combinadas entre sí, para alcanzar un objetivo adecuado en materia de nZEB. Además, tienen el potencial de estar a la vanguardia para proporcionar flexibilidad al sistema energético, a través de la producción de energía, control, en algunos casos almacenamiento, y respuesta a la demanda.

Del estudio del edificio, como prototipo en el que se ha probado las bases para la evaluación ambiental de edificios, permite considerarlo un ejemplo para los edificios de consumo de energía casi nula del sector terciario. Por tanto, los sistemas y las estrategias de diseño bioclimático son reproducibles (en el sentido de que se pueden adaptar, no copiar) en cualquier tipo de edificio, incluso en aquellos sujetos a rehabilitación. Algo similar ocurre con los sistemas fotovoltaicos integrados, la geotermia y el uso de bio-energía en sistemas de calefacción de distrito.

En el edificio se han desarrollado formas de diseño, estrategias bioclimáticas, técnicas constructivas encaminadas a la reducción de la demanda y sistemas de producción de energía que consiguen importantes reducciones en el consumo.

En comparación con el edificio de referencia, la mejora generalizada de la envolvente, con el incremento del aislamiento y la eliminación de puentes térmicos, unido a la alta carga interna y el recuperador de calor, permite un ahorro del 68% en calefacción.

Por su parte, la reorientación de las ventanas y su sombreado, con el aporte también de los pozos canadienses, al mantener las condiciones de confort con el aire de ventilación, y el aislamiento, producen un ahorro en refrigeración de más del 35%.

Las estrategias de mejora de la iluminación natural, con grandes ventanales y la aportación de los pozos de luz, favorecen ahorros de casi el 20% en

iluminación, hasta obtener una demanda de energía primaria total para el edificio de 102 kWh/m² año que también incluye calefacción la ventilación, que supone prácticamente el 25% del total.

En cuanto a las reducciones de emisiones de CO₂, se vinculan directamente con los ahorros de energía y principalmente con el uso de la biomasa para calefacción, con una reducción respecto al edificio de referencia del 27,5%.

La reducción de impactos medioambientales conseguidos, en referencia a un edificio diseñado y construido convencionalmente, están avalados por terceros mediante la herramienta VERDE^{GBC} y la certificación LEED, véase resumen de resultados en el anexo, alcanzando unos resultados óptimos.

De la comparación de los modelos de simulación se desprenden varias conclusiones:

En cuanto a los sistemas técnicos del edificio, se observa la importancia de atenuar la demanda de refrigeración mediante el diseño pasivo. Además, en los edificios de sector terciario se produce un gran consumo en iluminación y ventilación, esta última con especial relevancia para las condiciones de salud y confort (incluso para el sector residencial), que no se tienen en cuenta en los esquemas de certificación nacional.

En cuanto al edificio de referencia establecido en la normativa, es válido para la rehabilitación pues el propio edificio antes de rehabilitar es el edificio de referencia, sin embargo, en obra nueva no permite valorar correctamente los diseños bioclimáticos, ni gran parte de los sistemas pasivos o de integración de renovables como los pozos geotérmicos, ni tener en cuenta consumos como la ventilación.

En cuanto a los avances del Código Técnico, se infiere (comparando por ejemplo los modelos LUCIA cuadrado, LUCIA cuadrado con los vidrios del actual CTE y Referencia CTE cuadrado) figura 6.1, que el edificio LUCIA cuadrado (es decir construido con las ventanas alineadas con las fachadas, pero con los criterios del capítulo 4) tiene sólo un 2% más de consumo que el edificio de referencia CTE cuadrado. Si únicamente se sustituyen los vidrios por los que se establecen en el actual CTE, el ahorro de energía primaria no renovable será en torno al 22%. Si se compara además con los límites que fija la tabla 3.1.b - HE0 "Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ [kWh/m² año] para uso distinto del residencial privado" para la Zona climática de invierno correspondiente a Valladolid (D), se

aprecia que todos los modelos están dentro del rango para nivel de carga interna bajo, pese a ser edificios con una alta carga interna muy alta. Esto significa que las dos últimas modificaciones del CTE para adaptarse a los nZEB no han sido suficientemente restrictivas en sus requisitos, si se quiere conseguir que los edificios nuevos sean realmente nZEB.

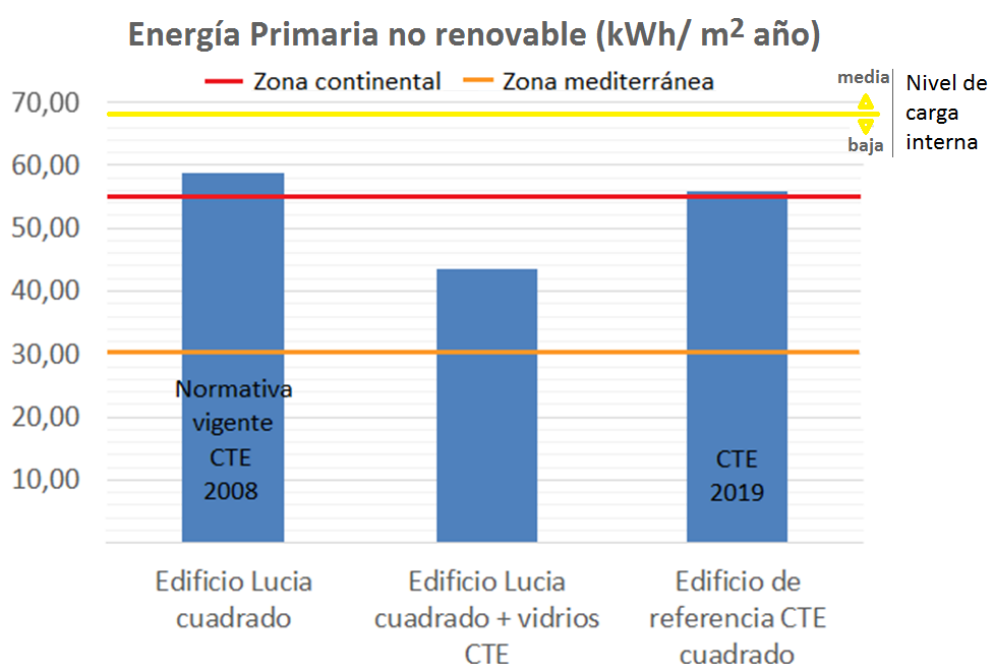


Figura 6.1 Comparación del consumo de energía primaria no renovable (energía primaria neta) de los modelos ‘cuadrados’, entre sí y en relación con los límites de consumo para oficinas según la Recomendación (UE) 2016/1318 y con los niveles definido en el CTE para uso distinto del residencial privado (zona climática de invierno D)

6.2 Nuevas líneas de investigación

Los edificios son la interfaz que modula cómo se producen los flujos energéticos entre el ambiente exterior y el interior. Son, en su conjunto, un sistema energético que debe responder a las necesidades de confort de sus ocupantes atenuando el consumo de energía, parte del cual puede ser considerado como inevitable dependiendo de las características del entorno y ambientales pero, aun así, puede ser reducido y optimizado a través de

diferentes estrategias, entre ellas conseguir el edificio como almacén de energía.

Se necesita profundizar en los criterios aplicables y la metodología para dar un paso más en la realización de edificios sostenibles, especialmente en lo que respecta al aprovechamiento de las condiciones externas y la ubicación para conseguir hacer del solar un recurso energético propio, y obtener una gestión adecuada de la demanda de energía, aprovechando la masa térmica de los muros y el terreno, para permitir la eficiencia energética distribuida, modificando el patrón de consumo de energía del edificio, al desacoplar la demanda y la producción.

Además, es necesario profundizar en la integración de las energías renovables en los edificios, como las placas solares fotovoltaicas híbridas, capaces de proporcionar electricidad y calor, para combinarlas con otros sistemas para generar frío solar pasivo...

Anexo

Puntuación final del edificio LUCIA en la Certificación LEED

1000029952, Valladolid, Valladolid

PLATINUM, AWARDED JUN 2014

Lucia Building**LEED BD+C: New Construction (v2009)****SUSTAINABLE SITES****AWARDED: 25 / 26**

SSc1	Site selection	1 / 1
SSc2	Development density and community connectivity	5 / 5
SSc3	Brownfield redevelopment	0 / 1
SSc4.1	Alternative transportation - public transportation access	6 / 6
SSc4.2	Alternative transportation - bicycle storage and changing rooms	1 / 1
SSc4.3	Alternative transportation - low-emitting and fuel-efficient vehicles	3 / 3
SSc4.4	Alternative transportation - parking capacity	2 / 2
SSc5.1	Site development - protect or restore habitat	1 / 1
SSc5.2	Site development - maximize open space	1 / 1
SSc6.1	Stormwater design - quantity control	1 / 1
SSc6.2	Stormwater design - quality control	1 / 1
SSc7.1	Heat island effect - nonroof	1 / 1
SSc7.2	Heat island effect - roof	1 / 1
SSc8	Light pollution reduction	1 / 1

**WATER EFFICIENCY****AWARDED: 10 / 10**

WEc1	Water efficient landscaping	4 / 4
WEc2	Innovative wastewater technologies	2 / 2
WEc3	Water use reduction	4 / 4

**ENERGY & ATMOSPHERE****AWARDED: 33 / 35**

EAc1	Optimize energy performance	19 / 19
EAc2	On-site renewable energy	7 / 7
EAc3	Enhanced commissioning	2 / 2
EAc4	Enhanced refrigerant Mgmt	2 / 2
EAc5	Measurement and verification	3 / 3
EAc6	Green power	0 / 2

**MATERIAL & RESOURCES****AWARDED: 6 / 14**

MRc1.1	Building reuse - maintain existing walls, floors and roof	0 / 3
MRc1.2	Building reuse - maintain interior nonstructural elements	0 / 1
MRc2	Construction waste Mgmt	2 / 2
MRc3	Materials reuse	0 / 2
MRc4	Recycled content	2 / 2
MRc5	Regional materials	2 / 2

MATERIAL & RESOURCES		CONTINUED
MRc6	Rapidly renewable materials	0 / 1
MRc7	Certified wood	0 / 1
INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY		AWARDED: 14 / 15
EQc1	Outdoor air delivery monitoring	1 / 1
EQc2	Increased ventilation	1 / 1
EQc3.1	Construction IAQ Mgmt plan - during construction	1 / 1
EQc3.2	Construction IAQ Mgmt plan - before occupancy	1 / 1
EQc4.1	Low-emitting materials - adhesives and sealants	1 / 1
EQc4.2	Low-emitting materials - paints and coatings	1 / 1
EQc4.3	Low-emitting materials - flooring systems	1 / 1
EQc4.4	Low-emitting materials - composite wood and agrifiber products	0 / 1
EQc5	Indoor chemical and pollutant source control	1 / 1
EQc6.1	Controllability of systems - lighting	1 / 1
EQc6.2	Controllability of systems - thermal comfort	1 / 1
EQc7.1	Thermal comfort - design	1 / 1
EQc7.2	Thermal comfort - verification	1 / 1
EQc8.1	Daylight and views - daylight	1 / 1
EQc8.2	Daylight and views - views	1 / 1
INNOVATION		AWARDED: 6 / 6
IDc1	Innovation in design	5 / 5
IDc2	LEED Accredited Professional	1 / 1
REGIONAL PRIORITY		AWARDED: 4 / 4
EAc1	Optimize energy performance	1 / 1
EAc3	Enhanced commissioning	0 / 1
EAc5	Measurement and verification	0 / 1
WEc1	Water efficient landscaping	1 / 1
WEc2	Innovative wastewater technologies	1 / 1
WEc3	Water use reduction	1 / 1
TOTAL		98 / 110

40-49 Points CERTIFIED	50-59 Points SILVER	60-79 Points GOLD	80+ Points PLATINUM
---------------------------	------------------------	----------------------	------------------------

Puntuación final del edificio LUCIA en la Certificación VERDE^{GBC}

L.U.C.I.A. Lanzadera Universitaria de Centro de Investigaciones Aplicadas
Valladolid.

Fecha: 26-01-2015
Registro: 2011-01
Referencia: VERDE NE Oficinas v1.a
EA VERDE: María Jesús González
Promueve: Universidad de Valladolid
Proyecta: Francisco Valbuena García, Unidad Técnica de Arquitectura/Universidad de Valladolid

Evaluación por criterios

Parcela y emplazamiento

- A14 Clasificación y el reciclaje de RSU
- A23 Uso de plantas autóctonas
- A33 Contaminación lumínica

Energía y atmósfera

- B01 Energía embebida en los materiales
- B02 Transporte de materiales
- B03 Consumo de energía en el uso del edificio
- B04 Demanda eléctrica en fase de uso
- B06 Producción de renovables en parcela
- B07 Emisión de sustancias foto-oxidantes

Recursos naturales

- C01.1 Consumo de agua potable
- C01.2 Necesidades de riego en jardines
- C02 Retención de aguas pluviales
- C04 Recuperación de aguas grises
- C16 Estrategia de demolición
- C17 Gestión de residuos de la construcción
- C20 Impactos en los materiales de construcción

Calidad del ambiente interior

- D02 Toxicidad en los materiales de acabado
- D03 Realización de un proceso de purga
- D07 Concentración de CO₂ en el aire interior
- D09 Limitación de la velocidad del aire
- D14 Iluminación natural
- D15 Deslumbramiento
- D16 Nivel de iluminación
- D17 Protección al ruido exterior
- D18 Protección al ruido de instalaciones
- D19 Protección al ruido de unidades funcionales


Calidad del servicio

- E01 Eficiencia de los espacios
- E05 Control local de iluminación
- E06 Control local de HVAC
- E13 Plan de gestión de mantenimiento

Aspectos sociales y económicos

- F02 Acceso universal
- F06 Acceso visual desde las áreas de trabajo
- F08 Coste de construcción
- F09 Coste de uso




■ Valoración buena del criterio
■ Valoración óptima del criterio



L.U.C.I.A. Lanzadera Universitaria de Centro de Investigaciones Aplicadas
Valladolid

Fecha: 26-01-2015
Registro: 2011-01
Referencia: VERDE NE Oficinas v1.a
EA VERDE: María Jesús González
Promueve: Universidad de Valladolid
Proyecta: Francisco Valbuena García, Unidad Técnica de Arquitectura/Universidad de Valladolid

Resumen de evaluación por impactos

IMPACTO	INDICADOR/m ²	VALORACION
Cambio climático	kg CO ₂ eq.	8,37 
Pérdida de fertilidad	g. SO ₂ eq.	0,36 
Pérdida de vida acuática	g. PO ₄ eq.	1,39 
Emisión de foto-oxidantes	g. C ₂ H ₄ eq.	0,01 
Cambios en la biodiversidad	%	0 
Agotamiento de energía no renovable	MJ	118,98 
Agotamiento de recursos no renovables	kg. SB	58,79 
Agotamiento de agua potable	m ³	0 
Generación de residuos no peligrosos	kg	2,46 
Salud y bienestar para los usuarios	%	94,3 
Riesgo y beneficios para los inversores	€	14,33 

Evaluación total

Escala de valoración:

0 - 0,5	0 hojas
0,5 - 1,5	1 hoja
1,5 - 2,5	2 hojas
2,5 - 3,5	3 hojas
3,5 - 4,5	4 hojas
4,5 - 5	5 hojas



**Relación de materiales del edificio LUCIA analizados en la herramienta
VERDE^{GBCE}.**

MATERIALES ANALIZADOS / EDIFICIO LUCIA	
CUBIERTA	PARTICIONES INTERIORES
Forjado de prelasas	Revestimiento continuo liso imp
Hormigón aligerado pendiente	Bloque de hormigón 40x20x20
Mortero 1/6 (20 mm)	1/2 pie Ladrillo perf.
Recrido mortero 1/6 (60 mm)	Enfoscado M-5 10mm
Geotextil 125gr/m ²	Pintura plástica
Lamina impermeabilización PVC	Trasdosado aut. 76/400(46)-2STD_MW
Geotextil 250gr/m ²	Trasdosado aut. 61/400(46)-1H
XPS 35 kg/m ³	Tab. PYL 130/400(70)-2STD-2STD_MW
Lámina dremante 140 gr/m ²	Tab. PYL 130/400(70)-2F-2F_MW
Tierra vegetal aportada	Tab. PYL 115/400(70)-2STD-1H_MW
Tierra propia	Tab. PYL 100/400(70)-1H-1H_MW
Losa Filtron	Alicatado
Lucernario fotovoltaico	Revestimiento DM
Solado granito	Mampara de vidrio
Membrana impermeabilizante bicapa	Mampara madera
Solado de terrazo	
Techo reg. modular	FORJADOS INTERIORES
Falso techo continuo + pintura	Forjado de prelasas
	Suelo técnico elevado
MUROS EXTERIORES	Recrido mortero 60mm
Panel sándwich hormigón	Lamina polietileno 0,2 mm
EPS panel	Lamina anti impacto 5 mm
Aislamiento madera natural	Corcho negro
Trasdosado aut. 76/400(46)-2STD	Gres porcelánico Stonker
Pintura plástica	Gres porcelánico antideslizante
Placa de aluminio mini onde	Linóleo
Enfoscado M-5 10mm	Techo reg. modular
1/2 pie Ladrillo perf.	Falso techo continuo + pintura
LEV 65 mm	Falso techo lamas metálicas.
1 pie Ladrillo perf.	Aislante lana de roca
MATERIALES ANALIZADOS / EDIFICIO LUCIA Cont.	
HUECOS	SUELOS
Doble acristalamiento 6+16+44.1	Pavimento hormigón

Carpintería aluminio rotura PT	Geotextil 200gr/m ²
Muro cortina fotovoltaico	Solera hormigón HA-25 bomb. 20 cm
Vidrio muro cortina	Lámina polietileno
	Encachado de piedra
IMPERMEABILIZACIONES /CIMENTACIONES	
Impermeabilizaciones	